

Aus dem
Zentrum für klinische Tiermedizin
der tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilian-Universität München
Klinik für Vögel, Reptilien, Amphibien und Zierfische
Leiter: Prof. Dr. R. Korbel

angefertigt unter der Leitung von Prof. Dr. R. Korbel

**Okulare Sonographie
des gesunden und erkrankten Auges
bei Wildgreifvögeln**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilian-Universität München

vorgelegt von
Birte Katja Strobel
aus Illertissen

München 2010

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilian-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Korb

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Poulsen-Nautrup

Tag der Promotion: 24. Juli 2010

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung.....	5
2 Literatur	7
2.1 Das Vogelauge	7
2.1.1 Anatomie und Physiologie.....	7
2.1.2 Pathologische Veränderungen.....	17
2.2 Sonographie	27
2.2.1 Geschichte der Sonographie in der Ophthalmologie	27
2.2.2 Physikalische Grundlagen.....	29
2.2.3 Technische Grundlagen.....	36
2.2.4 Untersuchungsverfahren.....	39
2.2.5 Okulare Sonographie	40
2.3 Pathologisch-anatomische Untersuchung des Auges	48
2.3.1 Entnahme, Fixation und Präparation.....	48
2.3.2 Fotografische Dokumentation	48
3 Material und Methoden.....	51
3.1 Zielsetzung	51
3.2 Materialbeschreibung	51
3.2.1 Probanden.....	51
3.2.2 Material für die ophthalmologische Untersuchung	53
3.2.3 Material für die sonografische Untersuchung.....	54
3.2.4 Material für die postklinische Dokumentation.....	58
3.3 Untersuchungsmethodik.....	60
3.3.1 Die ophthalmologische Untersuchung	60
3.3.2 Die sonografische Untersuchung	62
3.3.3 Die postklinische Dokumentation	68
3.3.4 Die statistische Auswertung.....	70
4 Ergebnisse	71
4.1 Durchführung.....	71
4.1.1 Dauer der Untersuchung.....	71
4.1.2 Einflussfaktoren auf die Untersuchungsdauer	72
4.1.3 Toleranz und Verträglichkeit der Untersuchung.....	74
4.2 Die B-Mode-Untersuchung	75

4.2.1 Darstellung und Darstellbarkeit physiologischer Strukturen.....	75
4.2.2 Darstellung und Darstellbarkeit pathologischer Veränderungen.....	93
4.2.3 Biometrie	122
5 Diskussion	126
5.1 Zur Motivation	126
5.2 Material und Methodik der sonografischen Untersuchung	127
5.3 Die sonografische Untersuchung.....	129
5.3.1 Untersuchungsdauer	129
5.3.2 Verträglichkeit	129
5.3.3 Die B-Mode-Untersuchung.....	130
5.4 Die postklinische Untersuchung	137
5.4.1 Material und Methodik.....	137
5.4.2 Übereinstimmung postklinischer und sonografischer Befunde	138
6 Zusammenfassung.....	139
7 Summary	141
8 Literaturverzeichnis	143
Anhang	153
Abbildungsverzeichnis	153
Intraokulare Messparameter.....	157
Vergleich ophthalmoskopischer, sonografischer und fotografischer Befunde	166
Danksagung	181

Abkürzungsverzeichnis

A.	=	Arteria, Arterie
AIUM	=	American Institute of Ultrasound in Medicine
A-Mode	=	Amplituden-Modulation
B-Mode	=	Brightness-Modulation
cm ²	=	Quadratcentimeter
dB	=	Dezibel
IOD	=	Intraokularer Druck, Augeninnendruck
LL	=	linienförmige echogene Struktur im Zentrum der Linse
M./ Mm	=	Musculus/ Musculi, Muskel/Muskeln
MHz	=	Time Gain Compensation, zeitabhängige Verstärkung
Mio	=	Millionen
mm	=	Millimeter
M-Mode	=	Motion-Modulation
mW	=	Milliwatt
OD	=	Oculus dexter, rechtes Auge
OS	=	Oculus sinister, linkes Auge
p.m.	=	post mortem
PL	=	punktförmige echogene Struktur anterior der hinteren Linsenkapsel
PRF	=	Pulse Repetition Frequenc
SD	=	standard deviation
V.	=	Vena, Vene

1 Einleitung

Die Überlebensfähigkeit von Wildgreifvögeln in der freien Wildbahn ist unmittelbar an einen uneingeschränkten Visus gebunden, denn nur bei einem voll funktionsfähigen Gesichtssinn sind sicheres Fliegen und vor allem ein selbständiger Nahrungserwerb gewährleistet.

Durchschnittlich 11,7 % aller Wildvogelpatienten, die einem Tierarzt vorgestellt werden, weisen okulare Läsionen auf (KORBEL 1994). Die häufigste Ursache okularer Veränderungen beim Wildgreifvogel sind Traumata, die in ca. 65 % der Fälle entweder direkt oder indirekt durch menschliche Einflüsse bedingt sind (BECKER 2001, FIX und BARROWS 1990, WENDELL et al. 2002). Hieraus ergibt sich für den Menschen im Allgemeinen und für den Tierarzt als dem berufenen Schützer der Tiere im Besonderen die moralische Verpflichtung, dem Vogel entweder eine schnelle Wiedereingliederung in die Wildpopulation zu ermöglichen oder ihn von unnötigem Leid zu erlösen.

Essentiell ist hierbei in jedem Fall eine aussagekräftige ophthalmologische Untersuchung, da sich Augenerkrankungen in ca. 80 % der Fälle auf das hintere Augensegment beschränken und auf den ersten Blick nicht zu erkennen sind (BUYUKMIHCI 1985, KORBEL 1994). Allerdings kann der Augenhintergrund aufgrund von Trübungen der transparenten Medien des dioptrischen Apparates häufig nicht eingesehen werden. In solchen Fällen ist eine Untersuchungsmethode erforderlich, die es erlaubt auch über den nicht direkt darstellbaren Fundus eine zuverlässige Aussage zu treffen.

In der Humanmedizin, aber auch bei Kleintier oder Pferd, hat sich in solchen Fällen die Sonografie gut bewährt (u.a. BYRNE und GREEN 2002, GEVELHOFF 1996, GUTHOFF et al. 1999, WILLIAMS et al. 1995). Bisher ist ihr Einsatz beim Vogel abgesehen von wenigen Ausnahmen (DELOGU und VALENTINI 2000, GUMPENBERGER und KOLM 2006) auf Einzelfälle beschränkt. Die Interpretation der Befunde orientiert sich in der Regel an den Erfahrungen aus der Kleintiermedizin. Genaue Erläuterungen einer für den Vogel geeigneten Vorgehensweise sowie ausführliche Beschreibungen der physiologischen sowie pathologischen Darstellungen fehlen bisher weitestgehend.

In der vorliegenden Arbeit werden Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Ultraschall in der Ornithoophthalmologie untersucht. Dabei werden zum einen die Darstellung und Darstellbarkeit physiologischer und pathologischer Strukturen beschrieben und zum anderen Referenzbereiche für relevante okulare Parameter der häufigsten Wildgreifvögel ermittelt, um dadurch den Stellenwert der okularen Sonografie für die Betreuung von Wildgreifvögeln einzuschätzen.

Die Aussagekraft der Sonografie für die aviäre Augenheilkunde wird anhand von post mortem angefertigten fotografischen Aufnahmen gesunder und erkrankter Augen überprüft.

2 Literatur

Für die Durchführung einer Untersuchung zur Sonografie am Auge von Wildgreifvögeln sind Kenntnisse der Anatomie und Physiologie sowie der Pathologie des Vogelauges unerlässlich. In diesem Kapitel werden insbesondere diejenigen Strukturen erläutert, deren Vorkommen einerseits auf Vertreter der Klasse Aves begrenzt ist und die andererseits die Durchführung der Untersuchung beeinflussen könnten. Darüber hinaus ist das Verständnis der physikalischen und technischen Grundlagen der Sonografie für die korrekte und aussagekräftige Anwendung des Ultraschalls von herausragender Bedeutung. Dieses Kapitel befasst sich daher ebenfalls mit der Physik und Technik der Sonografie sowie mit der korrekten Durchführung der Asservation und Anfertigung der fotografischen Aufnahmen, anhand derer die sonografischen Befunde evaluiert werden.

2.1 Das Vogelauge

2.1.1 Anatomie und Physiologie

Kenntnisse der Anatomie und Physiologie des Vogelauges sind einerseits unerlässlich für das Verständnis der Darstellung okularer Strukturen, andererseits helfen sie dabei, diejenigen Faktoren zu berücksichtigen, die die ophthalmologische sowie sonografische Untersuchung beeinflussen oder die aufgrund ihrer Abweichung zum Säugetier bei der späteren Interpretation des sonografischen Bildes zu Fehlinterpretationen führen könnten.

2.1.1.1 Orbita

Die Augenhöhle wird gebildet von den Ossa frontale, squamosum, laterosphenoidale, lacrimale und ectethmoidale (REESE et al. 2009). Ventral ist sie bei Greifvögeln und Eulen nicht knöchern geschlossen, sondern wird durch das faszienartige Ligamentum suborbitale begrenzt. Beide Bulbi liegen sehr nahe beieinander und sind voneinander lediglich durch das dünne Septum interorbitale getrennt (BEZZEL und PRINZINGER 1990, LEVINE 1955, MARTIN 1985)

Die Tiefe der Orbita ist bei tag- und dämmerungsaktiven Greifvögeln unterschiedlich ausgebildet (DUKE-ELDER 1958). Eine Besonderheit der Orbita tagaktiver Greifvögel stellt der weit kaudal reichende knöcherne Processus supraorbitalis des Tränenbeins dar (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Zusammen mit der den Bulbus nahezu vollständig umschließenden Orbita sorgt er für einen Schutz des Bulbus vor traumatischen Einflüssen. Bei Eulen weist die Augenhöhle hingegen eine sehr flache Form auf, sodass bei diesen die Schutzfunktion durch den knöchernen Skleralring übernommen wird.

Als weiterer Unterschied zum Säugerauge ist der Bulbus des Vogels nicht vollständig von einem retrobulbären Fettkörper unterlagert, sondern ruht - gleich einem Luftkissen - auf dem lediglich häutig begrenzten Sinus infraorbitalis (REESE et al. 2009).

2.1.1.2 Der Bulbus

Vögel besitzen einen im Vergleich mit dem Säugetier sehr großen Bulbus oculi (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Dies bezieht sich dabei nicht nur auf die absolute sondern auch auf die relative Größe (DUKE-ELDER 1958, MARTIN 1985, WALLS 1942). So beträgt der Anteil beider Bulbi am Gesamtgewicht des Kopfes bei tagaktiven Greifvögeln und Eulen 22 - 32 %, beim Menschen hingegen lediglich 1 % (KORBEL 1994, REESE et al. 2009).

Das Vogelauge ist nicht von kugelförmiger Gestalt, sondern kann vielmehr in zwei Anteile gegliedert werden (DUKE-ELDER 1958, MEYER 1986, REESE et al. 2009). Der vordere Anteil, bzw. Bulbus oculi anterior, mit der Kornea weist eine deutlich stärkere Krümmung bei gleichzeitig geringerem Radius auf als der flachere Bulbus oculi posterior. Die zwischen beiden Anteilen liegende Ziliarregion mit dem Anulus ossicularis sclerae führt durch ihre variable Gestalt zur Ausbildung unterschiedlicher Bulbusformen, die grob in drei Hauptgruppen unterteilt werden können (KORBEL 1991 a, WALLS 1942): Eine flache, eine globuläre sowie eine tubuläre Augapfelform (vgl. Abbildung 1). Vogelarten mit einem flachen Bulbustyp wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Tagaktive Greifvögel besitzen einen globulären Bulbus, welcher ein hohes Auflösungsvermögen erlaubt, während er bei Eulen eine tubuläre Gestalt aufweist. Letztere führt dazu, dass bei maximalem Auflösungsvermögen das Volumen verringert und Gewicht eingespart werden kann (MARTIN 1985). Darüber hinaus weisen nahezu alle Augen durch die nasale Verkürzung des Bulbus, welche gerade bei Eulen das binokulare Sehen erleichtert, eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Asymmetrie auf (DUKE-ELDER 1958).

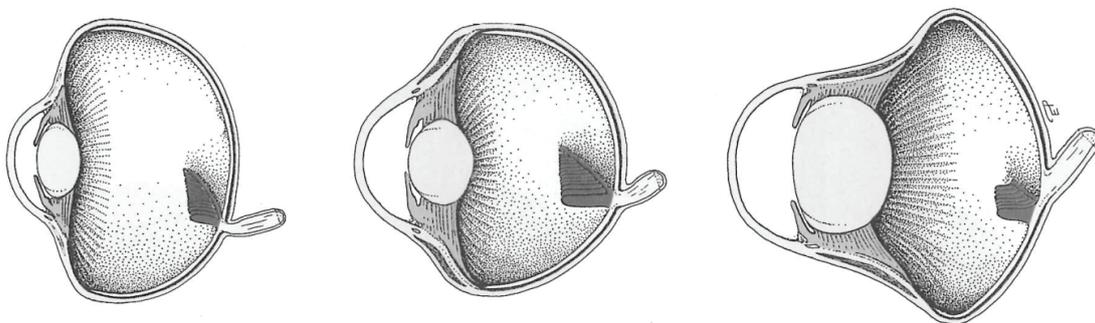


Abbildung 1: Augapfelformen beim Vogel: flach, globulär und tubulär¹

¹ REESE et al. 2009 nach WALLS 1942

2.1.1.3 Tunica fibrosa bulbi

Die bindegewebige äußere Augenhaut, Tunica fibrosa bulbi, setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: der transparenten Kornea des Bulbus oculi anterior einerseits und der weißen Sklera des Bulbus oculi posterior andererseits (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Ihre Funktion liegt darin, dem Augapfel Stabilität und Festigkeit zu verleihen, ihn vor nachteiligen äußeren Einwirkungen zu schützen und dem intraokularen Druck einen Widerstand entgegen zu setzen (REESE et al. 2009).

Obwohl der Aufbau der Kornea grundsätzlich mit demjenigen des Säugetierauges vergleichbar ist, fällt auf, dass ihr Durchmesser beim Vogel im Gegensatz zum Säugetier deutlich geringer ausgeprägt ist. Dadurch kann ein Objekt auf einen größeren Bereich der Netzhaut abgebildet werden (REESE et al. 2009). Besonders dünn ist der Durchmesser bei Eulenvögeln.

Die fünf Schichten der Kornea gliedern sich nach FREWEIN und SINOWATZ (2004) wie folgt: Das aus einem unverhornten Plattenepithel bestehende vordere Hornhautepithel gewährleistet aufgrund zahlreicher Mitosen in den basalen Zellschichten eine hohe Regenerationsfähigkeit. Diesem schließt sich eine auffällig dicke Bowman-Membran aus kollagenen Fasern an. Posterior folgt die bindegewebige Eigenschicht, die den größten Teil der Hornhaut ausmacht und aus einer stark chondroitinsulfathaltigen Glykoproteinsubstanz mit hohem Wasserbindungsvermögen besteht. Die Descemet-Membran wiederum ist beim Vogel recht dünn und fehlt bei manchen Vogelarten vollständig (PEARSON 1972). Den Abschluss zur vorderen Augenkammer bildet schließlich das innere Hornhautepithel. Durch das Vorhandensein zahlreicher sensibler Nervenfasern erhält die Hornhaut ihre ausgeprägte Sensibilität (REESE et al. 2009). Bei einigen Taggreifvögeln besitzt die Hornhaut einen Krümmungsgrad von ca. 120° , während sie bei Eulen mit einem Öffnungswinkel von mehr als 160° überaus stark gekrümmt ist (BEZZEL und PRINZINGER 1990).

Als Sklera wird der sich kaudal an die Kornea anschließende Abschnitt der äußeren Augenhaut bezeichnet. Sie besteht aus Bindegewebe, in das hyaline Knorpelplatten und Knochen eingelagert sind (TIEDEMANN 1810). Der den Vögeln eigene Skleralring, ein aus 10 - 18 meistens jedoch 15 einzelnen miteinander bindegewebig verbundenen Ossicula sclerae aufgebauter knöcherner Ring, umgibt den Augapfel zwischen Ora serrata und Anulus conjunctivalis vollständig (DUKE-ELDER 1958, FRANZ 1934). Dabei erfüllt er zusätzlich zur Schutzfunktion der exponiert liegenden Bulbi die Aufgabe, die Form des Augapfels während der Akkomodation zu stabilisieren und dadurch bedingte Aberrationen im dioptrischen System zu verhindern (REESE et al. 2009).

2.1.1.4 Tunica vasculosa bulbi

Die mittlere Augenhaut, Tunica vasculosa bulbi, wird nach (FREWEIN und SINOWATZ 2004, REESE et al. 2009) untergliedert in die Regenbogenhaut (Iris), den Strahlenkörper (Corpus ciliare) sowie die Aderhaut (Choroidea).

Die Iris ist der am weitesten anterior gelegene Anteil der Uvea und begrenzt die Pupille. An ihrem Ursprung am Ziliarkörper besitzt die Iris nur einen geringen Durchmesser, der in Richtung Pupille zunächst zu- und dann wieder abnimmt (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Eine bedeutsame Besonderheit der aviären Iris ist das Vorhandensein quer gestreifter Muskelfasern in den die Weite der Pupille regulierenden Mm. pupillae (REESE et al. 2009). Durch die willkürliche Kontrolle des Pupillenspiels ist eine schnellere Hell-Dunkel-Adaptation als beim Säuger möglich. Bei Greifvögeln weist die Iris eine altersabhängige Färbung auf (MURPHY 1984).

Der zwischen Irisbasis und Choroidea lokalisierte Strahlenkörper ist ein ringförmiger Wulst, der peripher am Skleralring verankert ist und aus zwei Anteilen besteht: der Pars plicata sowie der Pars plana (REESE et al. 2009). Die auf der inneren Oberfläche der Pars plicata befindlichen Falten (Plicae ciliares), die in ihrer Gesamtheit die Corona ciliaris bilden, sind besetzt mit vielen Ziliarfortsätzen. Deren Spitzen verschmelzen anders als beim Säuger an der Peripherie der Linsenkapsel mit dieser, woraus eine sehr feste Aufhängung der Linse resultiert (KORBEL 1994). Die Aufhängefasern der Linse, welche als Zonulafasern bezeichnet werden, finden ihren Ursprung in der Basalmembran der inneren Retinaepithellage der Pars plana und ziehen von dort zur Linsenkapsel (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Allerdings besitzen sie beim Vogel eine geringere Bedeutung für die Aufhängung als beim Säugetier (REESE et al. 2009). Der Ziliarmuskel ist quergestreift und eingelagert in das Stroma des Ziliarkörpers. Er ist aus zwei Anteilen zusammengesetzt, dem M. ciliaris anterior und dem M. ciliaris posterior. Letzterer ist bei Greifvögeln am stärksten ausgebildet (DUKE-ELDER 1958). Zusätzlich existieren bei einigen Vogelarten die Fibrae radiales als Abspaltung aus diesen Muskeln (DUKE-ELDER 1958, EVANS 1979). Deren Kontraktionen dienen der kornealen bzw. lentikulären Akkomodation. Dieser Vorgang wird allerdings erst ermöglicht durch das Vorhandensein einer weiteren anatomischen Struktur, des Ziliarspaltes, der durch die innere und äußere Platte des Ziliarkörpers gebildet wird (REESE et al. 2009). Er steht über den Kammerwinkel in weit offener Verbindung mit der vorderen Augenkammer.

Die stark vaskularisierte Choroidea geht kaudal der Ora serrata aus dem Ziliarkörper hervor und trägt durch die in zwei Lagen verlaufenden Gefäße zur Ernährung der avaskulären Retina bei (REESE et al. 2009). Über eine Lamina suprachoroidea (fusca) steht sie in lockerer Verbindung zur Sklera. Eine sehr feste Verbindung wiederum besteht durch eine Lamina

basalis mit dem retinalen Pigmentepithel (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Im Gegensatz zum Säuger besitzen Vögel kein Tapetum lucidum.

2.1.1.5 Tunica interna bulbi und Nervus opticus

Entwicklungsgeschichtlich handelt es sich bei der Retina um eine blasenförmige Ausstülpung des Gehirns, aus der durch eine weitere Einstülpung ein doppelwandiger Becher entsteht. Damit liegt sie innen der Uvea an, ihr freier Umschlagspunkt findet sich am Rand der Pupille (REESE et al. 2009).

Die äußere Wand der Retina, welche durch eine hohe Anzahl an Nervenzellen im Vergleich zum Säuger auffallend dick ist, besteht aus einem einschichtigen Pigmentepithel. Dieses so genannte Stratum pigmentosum ist mit der Choroidea fest verbunden (MARTIN 1985). Die innere Wand bildet das aus neun Schichten bestehende lichtempfindliche Stratum nervosum. Es sitzt dem Pigmentepithel nur sehr locker auf und ist unterteilt in eine hintere Pars optica retinae und eine vordere Pars caeca retinae (FREWEIN und SINOWATZ 2004 sowie REESE et al. 2009). Die Pars optica wird durch den Glaskörper in Position gehalten.

Anders als der Säuger besitzt der Vogel eine gefäßlose, so genannte anangiotische Retina (DESCHAEPPDRIJVER et al. 1989). Ihre Ernährung erfolgt daher über Diffusion aus Kapillaren der Lamina chorio-capillaris und den stark durchbluteten Augenfächer (MARTIN 1985, PETTIGREW et al. 1990, REESE et al. 2009)

Der histologische Aufbau der Retina ist bei der vorliegenden Arbeit nicht von Bedeutung, weshalb hier nicht näher auf diesen eingegangen wird.

2.1.1.5.1 Areae und Foveae

Die Retina besitzt spezielle runde bis ovale erhabene Regionen, an denen die Zapfen besonders dicht angeordnet sind (FRANZ 1934, WALLS 1942). Diese als Areae bezeichneten Stellen besitzen durch ein 1:1-Verhältnis von Rezeptor zu ableitender Nervenzelle ein besonders hohes Auflösungsvermögen (PUMPHREY 1948, REESE et al. 2009).

Die so genannten Foveae, die sich als zentrale Einsenkung der Retina darstellen, entstehen durch eine nach peripher erfolgende Verdrängung der im Lichtweg liegenden Neuronen (PUMPHREY 1948). Im Bereich der Foveae liegt eine noch höhere Dichte an Zapfen vor, was in einer weiteren Steigerung der Sehschärfe resultiert. Die Anzahl an Zapfen bei größeren Falken beträgt nach PUMPHREY (1961) in diesem Bereich bis zu 1 Mio./mm².

Lage und Form der Areae und Foveae sind variabel. Die meisten Spezies, so auch tagaktive Greifvögel und Eulen, besitzen zentral eine runde Area centralis rotunda mit Fovea centralis, welche sich nahe der optischen Achse befindet und dem monokularen Sehen sowie der Fixierung entfernter Objekte dient. Viele Taggreife, nicht jedoch die Eulen, besitzen zusätz-

lich eine Area temporalis, die ein binokulares stereoskopisches Sehen erlaubt (DUKE-ELDER 1958, FITE und ROSENFELD-WESSELS 1975, MEYER 1986, WOOD 1917).

2.1.1.5.2 Nervus opticus

Der Sehnerv ist an seiner Eintrittsstelle oval geformt und wird durch den Augenfächer fast vollständig abgedeckt, sodass er sich lediglich als spangenförmiger weißer Saum über die gesamte Pektenbasis erstreckt (DUKE-ELDER 1958, FREWEIN und SINOWATZ 2004, KORBEL et al. 2000, WOOD 1917). Das Pendant der Papilla nervi optici der Säugetiere zeigt sich lediglich als dünner, weiß-gelber Saum an der Pektenbasis.

Der genaue Aufbau und der vogelspezifische Faserverlauf sind für diese Arbeit nicht von Bedeutung.

2.1.1.6 Pecten oculi

Der Pecten oculi oder Augenfächer stellt die herausragende Eigenart des Vogelauges dar. Lediglich bei den Reptilien findet sich mit dem Conus papillaris eine ähnliche Struktur (FRANZ 1934, WOOD 1917).

Es existieren drei verschiedene Hauptformen mit zahlreichen Variationen (DUKE-ELDER 1958), allerdings kommt bei den in dieser Arbeit untersuchten Vögeln nur der Falten Typ vor. Dieser besteht aus einer artspezifisch variierenden Anzahl eng aneinander liegender vertikaler Falten, die apikal zur Pektenbrücke verwachsen sind und von dieser zusammengehalten werden (MEYER 1986).

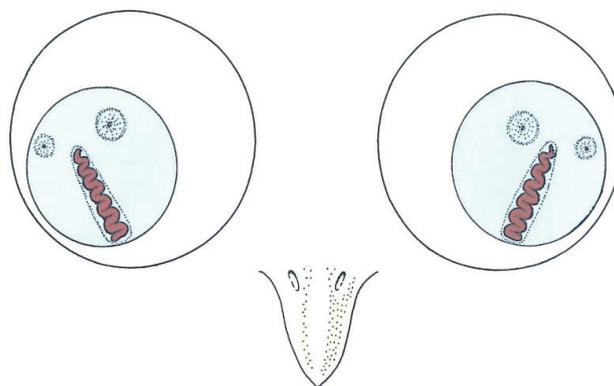


Abbildung 2: Position des Pecten oculi im Auge²

Der Augenfächer ist ein Derivat der Retina, wobei sein Stützgerüst unmittelbar aus dem Gerüstwerk des Nervus opticus hervorgeht. Er ragt als längliche Struktur in den Glaskörper (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Seine grundsätzliche Lage im Auge wird in Abbildung 2 veranschaulicht, wobei diese speziesabhängig stark variiert.

² (REESE et al. 2009)

Der Augenfächer ist nach MEYER (1986) aus glialem Stützgewebe ektodermalen Ursprungs aufgebaut, das von einem dichten Netz anastomosierender Kapillaren durchzogen ist und über interstitielle melaninhaltige und mitochindrienreiche Pigmentzellen verfügt (BRAEKEVELT 1993, SEAMAN 1966). Durch zahlreiche Mikrovilli kommt es zu einer ausgeprägten Oberflächenvergrößerung des Kapillarendothels.

2.1.1.6.1 Funktion des Pecten

Der Augenfächer wird von WALLS (1942) als eines der größten Rätsel in der vergleichenden Ophthalmologie bezeichnet. Es wurden ihm in der Vergangenheit viele verschiedene Aufgaben zugesprochen, die bereits häufig kontrovers diskutiert wurden und bis dato nicht eindeutig geklärt sind.

Ernährung der Retina: Hierfür sprechen die große Anzahl an Kapillaren, die Vergrößerung der Oberfläche durch Faltenbildung sowie die Lokalisation mitten im Auge (MEYER 1986). Zudem wurde diese Theorie von PETTIGREW et al. (1990) unterstützt, die Untersuchungen mittels Fluoreszein durchführten. Außerdem konnten WINGSTRAND und MUNK 1965 nachweisen, dass es durch operative Entfernung der den Augenfächer versorgenden Gefäße zur Atrophie des Pecten und daraus folgend zu degenerativen Veränderungen der Netzhaut kam. Diese Ergebnisse wurden allerdings von verschiedenen Autoren angezweifelt, u.a. von FRANCOIS und NEETENS (1974), die dieses Phänomen in eigenen Untersuchungen nicht nachvollziehen konnten.

Regulation des intraokularen Druckes und der Temperatur: Durch Steuerung der Durchblutung und Abgabe von Flüssigkeit an das Auge kommt dem Augenfächer nach MANN (1924) eine regulatorische Funktion in Hinsicht auf den intraokularen Druck sowie die Temperatur des Bulbus zu.

Lichtabsorption: Aufgrund seiner dunklen Pigmentierung sehen HANZLEY et al. (1975) die Aufgabe des Pecten oculi darin, Streustrahlung und Reflexionen innerhalb des Auges zu minimieren und dadurch zu einer besseren Bildqualität beizutragen.

Visuelle Funktionen: Verschiedene Autoren sprechen dem Augenfächer eine Bedeutung für die Perzeption von Bewegungen zu (MENNER 1938). THOMSON (1929) vermutet, dass er aufgrund des durch ihn entstehenden Schattens eine Einschätzung der Position der Sonne erlaubt und somit als Orientierungshilfe dient.

Sekretion: Nach LINDSAY-JONHNSON (1901) werden vor allem den Stromazellen des Augenfächers sekretorische Funktionen zugesprochen, wobei histochemisch Glycosaminoglycane identifiziert werden konnten (AGARWAL et al. 1966).

Andere: Die von BARLOW und OSWALD (1972) sowie DANILOV et al. (1970) (zit. nach MEYER (1986)) aufgestellten Vermutungen, der Pecten oculi besitze eine Art Sonnenschutz-

funktion oder diene als magnetischer Sensor bei der Orientierung, entbehren jeglicher anatomischer Grundlage.

Mittlerweile erscheint es am wahrscheinlichsten, dass der Augenfächer dazu dient, die sehr dicke, avaskuläre Retina zu ernähren und den intraokularen Druck sowie die Temperatur durch Steuerung der Durchblutung zu regulieren (FREWEIN und SINOWATZ 2004, PETTIGREW et al. 1990, REESE et al. 2009).

2.1.1.7 Linse

Zwischen Iris und Glaskörper befindet sich die nach FREWEIN und SINOWATZ (2004) aus der Linsenkapsel (Capsula lentis), dem Ringwulst (Pulvinus anularis), der Linsenammer (Vesicula lentis) und dem Zentralkörper (Nucleus) bestehende Linse, die bei vielen tagaktiven Greifvögeln flach, bei den nachtaktiven Eulen jedoch sphärisch geformt ist und somit deutliche speziesspezifische Unterschiede aufweist (DUKE-ELDER 1958). Im Vergleich zum Säuger stellt sie sich relativ groß dar.

Sie wird nach außen hin durch die aus einem einschichtigen Epithel bestehende Linsenkapsel begrenzt. Diese erlaubt als semipermeable Membran die Diffusion von Nährstoffen aus dem Kammerwasser in den Linsenkern. Zudem verhindert sie den Kontakt von Linseneiweiß mit dem Immunsystem (REESE et al. 2009).

Die unterhalb der Kapsel gelegenen Zellen bilden in Richtung des Linsenäquators Prismen, die sich zum vogeltypischen Ringwulst oder Pulvinus anularis lentis zusammenschließen (FREWEIN und SINOWATZ 2004, SLONAKER 1918). Dieser umgibt den Linsenäquator gürtelförmig und fungiert als Ansatz der Ziliarfortsätze.

Die Funktion des Ringwulstes ist nicht eindeutig geklärt, es wird jedoch ein Zusammenhang mit der Schnelligkeit der lentikulären Akkomodation vermutet (GOODGE 1960), da er bei schnell fliegenden Vögeln besonders ausgeprägt ist. Sie wird durch die größtenteils quergestreifte Ziliarmuskulatur gesteuert und ist somit willkürlich beeinflussbar (FRANZ 1934).

Der Ringwulst erfüllt zudem möglicherweise nutritive Zwecke, da seine Zellen eine Flüssigkeit in die Linsenammer sezernieren (SLONAKER 1918), die durch den Linsenkern resorbiert wird. Ein Linsenstern kommt im Gegensatz zu den Säugern nicht vor (REESE et al. 2009).

Der Nucleus juveniler Greifvögel und Eulen ist wie auch bei anderen Nesthockern nach dem Schlüpfen zunächst getrübt, was sich mit dem zu diesem Zeitpunkt noch hohen Gehalt an Glykogen begründen lässt (LO et al. 1993). Diese „juvenile Katarakt“ verschwindet im Laufe der ersten Lebenswochen, und stellt nach KORBEL (2002) einen vollkommen physiologischen Zustand dar.

2.1.1.7.1 Akkomodation

Bei keinem anderen Wirbeltier ist eine derartige Akkomodationsbreite entwickelt wie beim Vogel (MEYER 1986). So umfasst diese bei den meisten Vertretern der Klasse Aves bis zu 20 Dioptrien. Hier bilden die stark auf ihr Gehör angewiesenen nachtaktiven Greifvögel mit einer Akkomodationsbreite von zwei bis vier Dioptrien allerdings eine Ausnahme. Die Akkomodation erfolgt beim Vogel im Gegensatz zum Säugetier auf drei verschiedene Arten.

Bei der lentikulären Akkomodation spielt der Pulvinus annularis eine wichtige Rolle (MEYER 1986). Durch Kontraktion des M. ciliaris posterior wird der Ziliarkörper gegen den Ringwulst gedrückt, welcher diese Kraft gleichmäßig an die gesamte Ausdehnung des Linseäquators verteilt. Hierdurch wird die Oberfläche der weichen und stark verformbaren Linse nach vorne gewölbt (vgl. Abbildung 3). Eine Verlagerung der Linse selbst wird durch das Ligamentum pectinatum und die Zonulafasern einerseits sowie den Glaskörper andererseits verhindert (MEYER 1986).

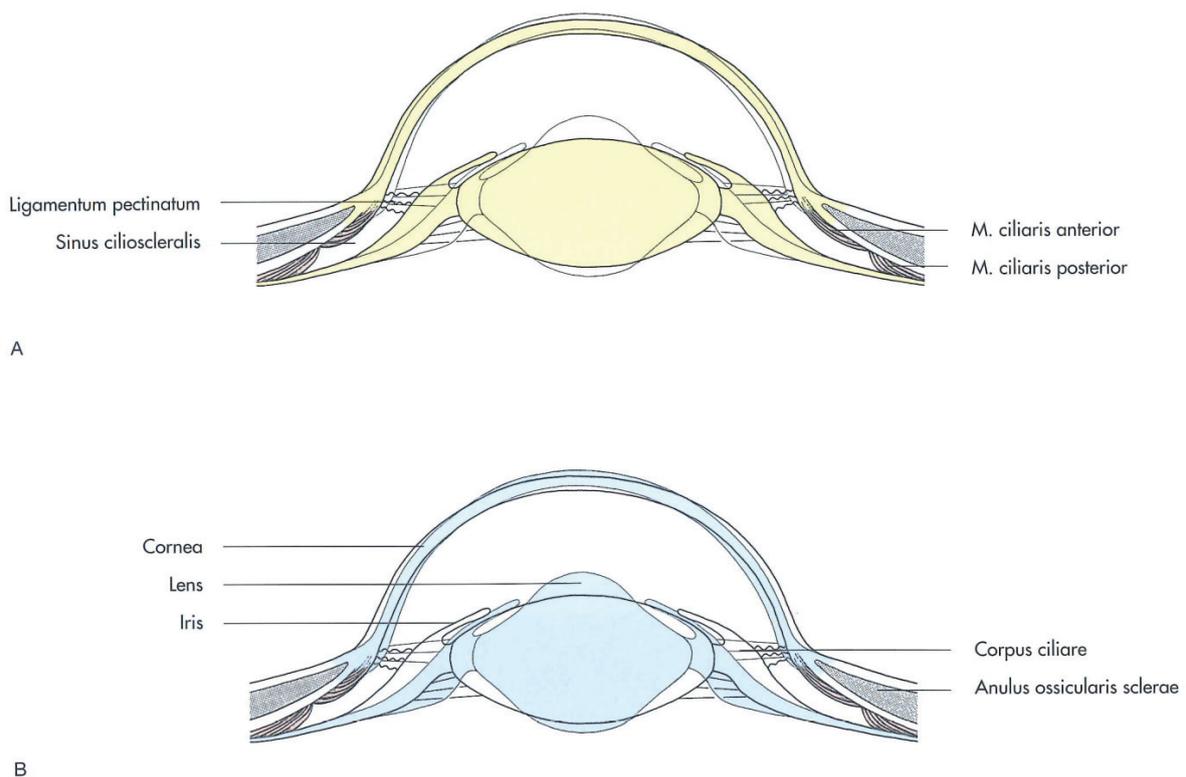


Abbildung 3: Mechanismus der lentikulären Akkomodation³

³ (REESE et al. 2009)

Die korneale Akkomodation wird durch die Kontraktur des an der Hornhaut inserierenden M.ciliaris anterior erreicht, was in einer veränderten Krümmung der Hornhaut resultiert (MEYER 1986, REESE et al. 2009).

Die retinale Akkomodation bezeichnet das Zurückziehen der Retina durch die Muskulatur der Choroidea im Rahmen der feinen Fokussierung (WALLS 1942, DUKE-ELDER 1958).

2.1.1.8 Augenbinnenräume

Die Augenhüllen umschließen zwei große Augenbinnenräume, die unterteilt werden in die vordere und hintere Augenkammer (Camera anterior et posterior bulbi) sowie den Glaskörperraum (Camera vitrea bulbi) mit dem darin befindlichen Glaskörper bzw. Corpus vitreum (FREWEIN und SINOWATZ 2004, REESE et al. 2009).

Die vordere Augenkammer wird begrenzt durch die anterior gerichtete Fläche der Iris sowie durch Kornea und Sklera, die hintere Augenkammer durch die Linse und die Hinterfläche der Iris. Durch die sehr weit peripher reichende Linse und den die Linse fast berührenden Ziliarkörper ist die hintere Augenkammer sehr klein (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Beide Augenkammern stehen durch die Pupille miteinander in Verbindung. Sie sind gefüllt mit dem Kammerwasser, welches in der Regel eine wässrige Konsistenz besitzt und durch die innere Epithellage der Pars caeca retinae produziert wird. Bei Eulen werden durch das hintere Korneaepithel zusätzlich muköse Substanzen sezerniert, sodass bei diesen das Kammerwasser eine visköse, fadenziehende Konsistenz besitzt (REESE et al. 2009).

Der Glaskörper ist ein gefäßloser, transparenter, gallertiger Körper, der zu 99 % aus Wasser besteht und den Binnenraum hinter Linse und Ziliarkörper, die Camera vitrea bulbi, ausfüllt (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Das Stroma besitzt ein feines Gerüst aus Kollagenfibrillen, die zur Glaskörpermembran verflochten sind und der Fixation des Glaskörpers an Pektenbasis, Pektenbrücke und Ziliarkörper dienen (MARTIN 1985). In das Stroma sind hydrophile Glycosaminoglycane eingebettet, die dem Glaskörper eine gelartige Konsistenz verleihen (REESE et al. 2009). Allerdings ist die Konsistenz im Vergleich zum Säugetier relativ dünnflüssig, was eine höhere Beweglichkeit der Fächerschwingungen erlaubt und dadurch die Diffusion von Nährstoffen zur Retina erleichtert.

Der Glaskörper ist verantwortlich für die Aufrechterhaltung des intraokularen Druckes und hält dadurch die Retina in Position (REESE et al. 2009).

2.1.1.9 Lider

Wie auch die Säugetiere besitzen Vögel drei Augenlider. Palpebra superior et inferior dienen dem Schutz der Kornea (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Bei den meisten tagaktiven Greifvögeln ist das untere Lid im Gegensatz zu den Eulen deutlich größer und beweglicher

als das obere. Es wird gestützt durch eine bindegewebige – bei vielen Greifvögeln auch knorpelige Platte – den Tarsus palpebrae (REESE et al. 2009). Das dritte Augenlid, die Membrana nictans, ist eine hoch spezialisierte, dünne Bindehautduplikatur, die die Kornea während des Fluges vor Austrocknung schützt und den präkornealen Tränenfilm und die Gehirntemperatur reguliert (FREWEIN und SINOWATZ 2004). Sie bewegt sich von dorsonasal nach ventrotemporal.

2.1.1.10 Innervation

Für die vorliegende Arbeit spielt vor allem die sensible Innervation der Hornhaut eine Rolle. Diese erfolgt durch den III, IV, V (N. ophthalmicus), VI. und VII (N. palatinus) Gehirnnerven, wobei hier eine sehr breite artspezifische Varianz in Qualität und versorgtem Gebiet vorliegt (REESE et al. 2009).

2.1.2 Pathologische Veränderungen

2.1.2.1 Vorkommen und Bedeutung okularer Läsionen

Okulare Läsionen besitzen bei Wildgreifvögeln nicht zuletzt deshalb eine herausragende Bedeutung, als das Auge bei diesen nicht oder nur ungenügend durch andere Sinnesleistungen ersetzt werden kann (KORBEL 1999).

In der Vergangenheit wurde das Vorkommen von Augenerkrankungen beim Wildgreifvogel im Rahmen zahlreicher Arbeiten untersucht, u.a. von BUYUKMIHCI (1985), KORBEL (1994), KORBEL (2000), MURPHY (1984). In einer Arbeit zu Augenerkrankungen beim Vogel beschreibt KORBEL (1999), dass verunfallte Wildgreifvögel in 30,9 % der Fälle traumatisch induzierte okulare Läsionen aufweisen. Insgesamt handelt es sich bei 45,8 % der betroffenen Tiere um tagaktive Greifvögel und zu 20 % um Eulen. Hierbei konnte zudem festgestellt werden, dass okulare Veränderungen bei tagaktiven wild lebenden Greifvögeln zu 63 % Glaskörper und Fundus, zu 36 % vordere Augenkammer und Uvea, zu 12,4 % die Hornhaut, zu 5,5 % die Sklera und zu 2,8 % die Linse betreffen, während bei Eulen zu 73,7 % Veränderungen des Glaskörpers und des Fundus, zu 42,1 % der Sklera, zu 31,6 % der vorderen Augenkammer und Uvea sowie zu 8,7 % der Linse vorlagen. Dabei war in 84,1 % der Fälle das vordere Augensegment unauffällig.

Insgesamt lässt sich daraus folgern, dass Augenveränderungen ein ernst zu nehmendes Problem für verletzte Wildgreifvögel darstellen, die in einer Vielzahl von Fällen auf den ersten Blick nicht zu erkennen sind. Daher ist bei einem verletzten Wildgreifvogel eine Augenuntersuchung in jedem Fall obligatorisch (BUYUKMIHCI 1985, KORBEL 1999).

2.1.2.2 Kornea und Sklera

Ganz allgemein sind Veränderungen der Hornhaut nach KORBEL (1994) bei tagaktiven Greifvögeln zu 85,7 % traumatischer Ätiologie sowie zu 14,3 % durch bakterielle Infektionen bedingt, während die Ätiologie bei Eulen zu 80 % traumatischer und zu 20 % bakterieller Natur ist. Das klinische Bild kann hierbei sehr variabel sein und äußert sich in verschiedenen pathologischen Veränderungen.

2.1.2.2.1 Korneaödem

Ein Hornhautödem entsteht durch Einlagerung von Flüssigkeit in das Stroma oder in das Hornhautepithel (GILGER 2008). Voraussetzung für dessen Entstehung ist die Verletzung von einer oder mehreren Strukturen, die das Vorhandensein von Wasser im Hornhautstroma aktiv oder passiv regulieren (WILCOCK 2008). Hierzu gehören endotheliale Dystrophie, Endothelschädigungen, mechanisches Trauma, toxische Reaktionen, Uveitis anterior, Endotheliitis, Glaukom, Neovaskularisation und oberflächliche oder tiefe Ulzerationen (GILGER 2008). Insgesamt darf angenommen werden, dass einer traumatischen Ätiologie beim wild lebenden Greifvogel die größte Bedeutung zukommt. KORBEL (2000) beschreibt das Auftreten von Hornhautödemem auch im Zusammenhang mit einer Avipoxvirus-Infektion.

2.1.2.2.2 Keratitis

In der Regel ist die Hornhaut sehr unempfindlich gegenüber Infektionen, sodass abgesehen von viralen Agentien in der Regel prädisponierende Faktoren für die Entstehung einer Keratitis erforderlich sind (WILCOCK 2008). Die Symptome reichen von Ödematisierung, Vaskularisation oder Granulation bis hin zu Pigmentierung oder Narbenbildung (WALDE et al. 2008). Eine Keratitis kann bei wild lebenden Greifvögeln neben einer traumatischen Ätiologie bedingt sein durch verschiedene bakterielle, virale oder auch mykotische Agentien. Hierzu gehören unter anderem *Salmonella typhimurium*, *Mycoplasma* spp. oder Avipoxviren (KORBEL 2000). Eine Erkrankung unbekannter Ätiologie stellt hier zudem die so genannte Waldkauzkeratitis dar, eine unilateral auftretende Keratitis, in deren Folge es häufig zu Panophthalmien kommt (KORBEL 1992, SEIDEL 1988). Keratokonjunktivitiden werden nach MURPHY (1984) bei Vögeln beobachtet, die in Schornsteine gefallen sind, was jedoch relativ selten vorkommt und lediglich bei Eulen und Falken beschrieben ist.

2.1.2.2.3 Ulcus corneae

Unter einem Ulcus corneae versteht man jegliche Veränderung der Kornea, bei der es zum Verlust von Epithelzellen kommt (WILCOCK 2008). Die Ursachen sind vielfältig und können prinzipiell als ein Ungleichgewicht von Abnutzung und Schutz bzw. Regeneration des kornealen Epithels definiert werden. Zu einer vermehrten Abnutzung führen beispielsweise Traumata sowie Fremdkörper. Eine Störung im Schutz bzw. bei der Regeneration der Kor-

nea ist häufig bedingt durch angeborene oder erworbene Lidveränderungen (MAGGS 2008). Ulcerationen der Kornea sind laut MURPHY (1984) ein häufiger Befund beim Greifvogel, heilen in der Regel aber komplikationslos ab.

2.1.2.2.4 Perforation

Eine Perforation der Kornea kann durch Fremdkörper verursacht werden oder auch als Folge eines chronischen Ulcus auftreten (LAWTON 1993). Hierbei kann es zu einer vorderen Synchie sowie zu einem Irisprolaps kommen (WALDE et al. 2008, WILCOCK 2008).

2.1.2.2.5 Pathologische Veränderungen der Sklera

KORBEL (1994) fand Veränderungen der Sklera bei lediglich 0,3 % der post mortem untersuchten Vögel, wobei die Veränderungen hier im Zusammenhang mit Schussverletzungen, okularer Mykose sowie einer Waldkauzkeratitis auftraten. Andererseits stellte BUYUKMIHCI (1985) bei der Untersuchung von 74 wild lebenden Greifvögeln, die vorberichtlich Augenerkrankungen gezeigt hatten, fest, dass bei acht Vögeln (10,8%) eine Ruptur der Sklera vorlag, wobei sieben der Tiere gleichzeitig eine Skleritis aufwiesen.

2.1.2.3 Vordere und hintere Augenkammer

Veränderungen der beiden Augenkammern beschränken sich in der Regel auf das Vorkommen unphysiologischen Inhaltes im Rahmen eines Traumas, eines entzündlichen Prozesses oder auch intraokulare Fremdkörper. KORBEL (1994) stellte fest, dass bei wild lebenden tagaktiven Greifvögeln Veränderungen der vorderen Augenkammer in 100 % der Fälle traumatischer, bei Eulen jedoch zu jeweils 33,3 % viraler, traumatischer oder unbekannter Ätiologie waren.

2.1.2.3.1 Hyphaema

Ein Hyphaema wurde in einer Studie von MURPHY et al. (1982) bei 27 % aller Wildvogelpatienten festgestellt und gehört nach MURPHY (1984) zu den am häufigsten vorkommenden Befunden bei Wildgreifvögeln. Es definiert sich durch das Vorhandensein von Blut in der vorderen Augenkammer (HENDRIX 2008, MARTIN 1995). Die Ursachen reichen von Traumata über Gerinnungsstörungen bis hin zu Vaskulitis und Hyperviskosität (HENDRIX 2008). Beim Greifvogel ist es jedoch nach KORBEL (1994) zu 100 % bedingt durch ein direktes Trauma. Durch Verletzung von Gefäßen intraokularer Strukturen wie z.B. des Ziliarkörpers kommt es zu Blutungen, deren Ausmaß abhängig von der zugrunde liegenden Ursache unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann.

2.1.2.3.2 Fibrin

MURPHY (1984) beschreibt, dass es in Folge eines Hyphaemas in der Regel zur Organisation des Blutes in Form von Koagula kommt, welche sich meist innerhalb von Tagen bis

Wochen zurückbilden, während KORBEL (2003) feststellte, dass die Resorption von Blutungen in der vorderen Augenkammer ca. drei bis vier Wochen benötigt. Dabei ist die Bildung von Fibrinkoagula möglich, die aufgrund der dem Vogel eigenen niedrigen fibrinolytischen Aktivität in gravierenden Fällen auch persistieren können (GRIMM und KORBEL 1989).

Fibrinabscheidungen in die vordere Augenkammer können nach KORBEL (1992) auch in Zusammenhang mit Paramyxovirus-Infektionen, oder im Rahmen einer Uveitis anterior auftreten.

2.1.2.3 Trübungen und Hypopyon

Zu einer Trübung des Kammerwassers kann es im Zusammenhang mit einer Uveitis anterior kommen (HENDRIX 2008). Das Auftreten eines Hypopyons wurde (KORBEL 1992) im Rahmen einer Salmonellose beschrieben.

2.1.2.4 Uvea

Wie bei den bisher beschriebenen Veränderungen sind auch Erkrankungen der Uvea bei Wildgreifvögeln zu 90 % traumatisch bedingt (KORBEL 1994). Bei Beizvögeln werden jedoch ebenfalls Erkrankungen mykotischer bzw. viraler Genese beobachtet, sodass davon auszugehen ist, dass diese auch bei wildlebenden Greifvögeln als Ätiologie in Betracht gezogen werden müssen, wenn sie auch eine geringere Bedeutung besitzen dürften als das Trauma.

2.1.2.4.1 Uveitis

Entzündungen der Aderhaut lassen sich unterteilen in die Uveitis anterior oder Iridozyklitis, eine Uveitis posterior sowie eine Panuveitis, bei der alle drei Abschnitte der Uvea in den Entzündungsprozess einbezogen sind (MILLER 2008).

Die Ursachen von Entzündungen der Aderhaut sind überaus vielfältig und reichen von Traumata oder Fremdkörpern bis hin zu viralen, bakteriellen oder mykotischen Infektionen. Auch im Zusammenhang mit der bisher ätiologisch nicht abgeklärten Waldkauzkeratitis sind Uveitiden aufgetreten (KORBEL 1992).

Uveitiden äußern sich durch Blepharospasmus, Miosis, Trübung des Kammerwassers bzw. Glaskörpers sowie einen reduzierten intraokularen Druck. Ältere Entzündungen können zur Heterochromie, Atrophie von Iris und Ziliarkörper, vorderer bzw. hinterer Synechie, Katarakten, Netzhautablösungen oder einer Phtisis bulbi führen.

2.1.2.4.2 Synechie und Iris bombata

Eine Synechie bezeichnet Verklebungen der Iris mit benachbarten Strukturen (MARTIN 1995). Unter einer vorderen Synechie versteht man dabei das Verkleben von Iris und Hornhautendothel, unter einer hinteren Synechie dasjenige von Iris und vorderer Linsenkapsel.

Nach LAWTON (1993) führt jeder Entzündungsprozess der Iris zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Adhäsionen zwischen Iris und vorderer Linsenkapsel.

Eine Iris bombata (Iris bombé) wird bedingt durch eine gestörte Zirkulation des Kammerwassers im Rahmen einer zirkulären hinteren Synechie (WALDE et al. 2008). Da das vom Ziliarkörper produzierte Kammerwasser sich im Raum zwischen Iris und Linse sammelt und nicht abfließen kann, wird die Iris durch den sich zunehmend aufbauenden Druck immer stärker vorgewölbt.

2.1.2.4.3 Zusammenhangstrennungen der Iris

Unter einer Iridodialysis versteht man die Ablösung der Iris vom Ziliarkörper (MARTIN 1995). Sie ist beim wild lebenden Greifvogel stets traumatisch bedingt und kommt relativ selten vor (BUYUKMIHCI 1985). Im Zusammenhang mit intraokularen Fremdkörpern kommt es jedoch relativ häufig zu anders gearteten Zusammenhangstrennungen innerhalb der Iris (MURPHY 1984).

2.1.2.4.4 Choroidale Ablösung

Aufgrund der dem Vogel eigenen engen Verbindung zwischen retinalem Pigmentepithel und Choroidea einerseits und der lediglich lockeren Verbindung zur Sklera kommt es nach RAVELHOFER (1996) beim Vogel häufig nicht zu einer isolierten Ablösung der Retina, sondern vielmehr zu einer Zusammenhangstrennung zwischen Choroidea und Sklera.

2.1.2.4.5 Choroidale Blutungen

Von den Gefäßen der Choroidea ausgehende Blutungen können in Zusammenhang mit einem Trauma häufig beobachtet werden. Hierbei können sowohl Choroidea als auch Ziliarkörper betroffen sein (MURPHY 1984). Allerdings beobachtete KORBEL (1994) selten eine isoliert von der Aderhaut ausgehende Blutung. Vielmehr kommt es in diesem Zusammenhang in den meisten Fällen gleichzeitig zu Hämorrhagien des Augenfächers. Blutungen der Choroidea können aufgrund einer durch sie bedingte Retinaablösung zu irreversibler Blindheit führen.

2.1.2.5 Retina

Veränderungen der Retina sind häufig infektiöser Ätiologie, allerdings spielen auch hier wieder traumatische Ursachen eine bedeutende Rolle.

2.1.2.5.1 Retinitis

Entzündungen der Retina sind in den meisten Fällen nicht nur auf diese beschränkt, sondern erstrecken sich aufgrund der engen Verbindung zwischen beiden Schichten häufig auch auf die darunter liegende Choroidea. Eine akute Chorioretinitis geht einher mit Ödemen, Exsudationen und zellulären Infiltrationen (OFRI 2008). Ätiologisch kommen Traumata, intraokulare

Fremdkörper oder infektiöse Geschehen wie beispielsweise Toxoplasmose, Salmonellose oder Mykobakteriose in Betracht (KORBEL 1992, NARFSTRÖM und PETERSEN-JONES 2008).

Chronische Prozesse zeigen sich häufig als Narben in Form hyperpigmentierter Areale auf der Netzhaut. Darüber hinaus kann es infolge von Toxoplasmose oder fehlerhafter Ernährung zur retinalen Narbenbildung kommen (MURPHY 1984).

2.1.2.5.2 Netzhautablösungen

Bei Wildgreifvögeln ist die Ablösung der Netzhaut mit einer Inzidenz zwischen 10 und 30 % relativ häufig (BUYUKMIHCI 1985, MURPHY et al. 1982). Sie tritt nach RAVELHOFER (1996) selten isoliert auf, sondern ist aufgrund der sehr festen Verbindung zwischen dem Pigmentepithel der Retina und der Choroidea in der Regel im Zusammenhang mit einer Ablösung beider Schichten zu sehen. Demgegenüber steht die Beobachtung von MARTIN (1985). Ihm zufolge zeigen sich Netzhautablösungen analog zum Säugetier meist am Übergang vom sensorischen zum pigmentierten Anteil der Retina. Ätiologisch kommt beim Wildgreifvogel in erster Linie das Trauma in Frage, wobei es durch den Austritt von Blut oder Serum zur Abhebung der Netzhaut kommt. Darüber hinaus müssen Uveitiden bzw. intravitreale Hämorrhagien berücksichtigt werden, die über die Bildung von so genannten „Traction bands“ zur Ablösung der Retina führen (OFRI 2008).

2.1.2.6 Pekten

Der Pekten wird aufgrund seiner anatomischen Voraussetzungen vor allem durch traumatische Beeinflussungen in Mitleidenschaft gezogen. Doch auch entzündliche Veränderungen kommen vor.

2.1.2.6.1 Ruptur und Hämorrhagien

Partielle Zusammenhangstrennungen innerhalb des Pekten selbst oder aber vollständige Abrisse des Augenfächers werden durch traumatische Einflüsse ausgelöst, bei denen die physiologischen schwingenden Bewegungen des Pekten durch Contre-Coup-Effekte, die sich durch den knöchernen Skleralring und die meist enge Orbita potenzieren, um ein Vielfaches verstärkt werden und es somit zu Zusammenhangstrennungen kommt (KORBEL 1999).

Auch wenn die auf den stark vaskularisierten Augenfächer einwirkenden Kräfte nicht zu partiellen oder vollständigen Abrissen führen, kann es hierbei jedoch zu hochgradigen Blutungen in den Glaskörper kommen. Wie KORBEL (1999) feststellte, gehen intravitreale Hämorrhagien zu 80 % allein vom Augenfächer aus.

2.1.2.6.2 Pectinitis

Eine Entzündung des Augenfächers kann beispielsweise im Rahmen einer Salmonellose auftreten (KORBEL 2000). Von PAULI et al. (2007) wurde diese bei wild lebenden Greifvögeln in den USA auch im Zusammenhang mit natürlicher West Nile Virus Infektion beobachtet. Darüber hinaus kann eine aviäre Mykobakteriose in seltenen Fällen zu granulomatösen Entzündungen des Pekten führen (GYLSTORFF und GRIMM 1998, KORBEL et al. 1997).

2.1.2.6.3 Degeneration

Eine Degeneration des Pekten konnte von WINGSTRAND und MUNK (1965) durch eine artifizielle Zerstörung des versorgenden Gefäßes provoziert werden. Es ist daher denkbar, dass es infolge traumatischer Einflüsse mit erheblichen Schädigungen des vaskulären Systems zu degenerativen Veränderungen kommen kann. Des Weiteren sind auch in Zusammenhang mit einer End- oder Panophthalmitis bzw. viralen Infektionen (u.a. West Nile Virus) Degenerationen des Augenfächers möglich (PAULI et al. 2007).

2.1.2.7 Linse

Es wurden verschiedene lentikuläre Veränderungen bei Wildgreifvögeln beobachtet, von denen die Katarakt mit ihren unterschiedlichen Formen die größte Bedeutung besitzt (BUYUKMIHCI 1985), während beispielsweise Luxationen oder Subluxationen relativ selten auftreten (MURPHY et al. 1982). Die Ätiologie lentikulärer Veränderungen war nach KORBEL (1994) beim tagaktiven Greifvogel stets traumatischer, bei Eulen jedoch zu jeweils 50 % traumatischer oder unbekannter Genese.

2.1.2.7.1 Katarakt

Der Begriff der Katarakt umfasst eine Gruppe krankhafter Veränderungen, die zu einem Verlust der Transparenz der Linse oder ihrer Kapsel führen. Insgesamt ist die Katarakt eine Erscheinung, die beim Vogel im Allgemeinen zwar nicht selten vorkommt (WILLIAMS 1994), beim wild lebenden Greifvogel allerdings eine untergeordnete Bedeutung besitzt (KORBEL 1994).

Nach LAWTON (1993) tritt sie beim Vogel vor allem im Zusammenhang mit inflammatorischen Prozessen, Alter oder Ernährungsfehlern auf. Allerdings spielen die beiden letzteren Faktoren beim Wildgreifvogel keine Rolle.

Die für die Säuger (OFRI 2008, WALDE et al. 2008) vorgenommenen Einteilungen der Katarakt nach Reifegrad (C. immatura, C. matura, C. hypermatura), Lokalisation (capsularis, subcapsularis, polaris anterior et posterior, nuclearis) oder Ätiologie (congenital, degenerativ, traumatisch), ist auf den Vogel prinzipiell übertragbar. An dieser Stelle soll jedoch der von MURPHY (1984) beschriebenen Einteilung gefolgt werden.

Die juvenile Katarakt wurde bei juvenilen Waldkäuzen beobachtet, wobei es entweder zu einer Progression des Prozesses oder aber zur Abheilung kam (BUYUKMIHCI et al. 1988). Nach LO et al. (1993) werden juvenile Nesthocker generell mit einer transienten glykogenbedingten Katarakt geboren, die mit zunehmendem Alter verschwindet.

Die senile Katarakt wird vor allem bei in Gefangenschaft gehaltenen Greifvögeln beobachtet (MURPHY 1984). Auch GYLSTORFF und GRIMM (1998) beschreiben das Auftreten einer senilen Katarakt bei alten Wanderfalken. Insgesamt ist eine senile Katarakt beim Vogel sehr selten, was nach RAVELHOFER (1996) durch die im Vergleich zum Säuger besseren Stoffwechseleleistungen der aviären Linse bedingt ist.

Die Mehrheit der bei wild lebenden Greifvögeln diagnostizierten Katarakte sind traumatischen Ursprungs, wobei hier vor allem Eulen betroffen sind (BROOKS 1997, MURPHY et al. 1982).

2.1.2.7.2 Kapselruptur

Eine Ruptur der Linsenkapsel tritt nach OFRI (2008) in verschiedenen Formen auf. Zum einen kann es bei kataraktös veränderten Linsen zu einem kontinuierlichen „Aussickern“ von Linsenmaterial kommen, zum anderen kann sie durch traumatische Einflüsse bedingt sein. Beide Formen ziehen infolge des Kontaktes der Uvea mit dem als fremd erkannten Linseprotein eine linseninduzierte Uveitis nach sich. ANDERSON und BUYUKMIHCI (1983) beschreiben eine Endophthalmitis phakoanaphylaktika bei einer Schreieule.

2.1.2.7.3 Dislokationen der Linse

Zu Dislokationen der Linse gehören Luxationen bzw. Subluxationen. Dabei kommt es entweder zu einer vollständigen oder partiellen Ablösung der Linse von ihrer Aufhängung mit daraus folgender Lageveränderung (OFRI 2008). Disloziert die Linse in die vordere Augenkammer spricht man von einer Luxatio lentis anterior. Befindet sie sich im Glaskörperraum, wird sie als Luxatio lentis posterior bezeichnet.

Aufgrund der sehr festen Aufhängung der Linse (vgl. 2.1.1.7) sind Dislokationen der Linse beim Vogel eher selten und werden meist in Zusammenhang mit erheblichen traumatischen Ereignissen gesehen (REESE et al. 2009).

2.1.2.8 Corpus vitreum

Bei pathologischen Zuständen des Glaskörpers liegt zu 90,5 % der Fälle eine traumatische Ätiologie zugrunde (KORBEL 1994). Diese führt in der Regel zu teilweise erheblichen Einblutungen.

2.1.2.8.1 Glaskörperblutungen

Blutungen in den Glaskörper gehen in 95 % der Fälle vom Augenfächer aus (KORBEL 1994). Dabei ist dieser in mehr als der Hälfte der Fälle isoliert und zu ca. einem Drittel der Fälle gemeinsam mit einer anderen Struktur betroffen. Lediglich ca. 5 % der intravitrealen Hämorrhagien sind bedingt durch Blutungen anderer Strukturen wie etwa des Ziliarkörpers oder der Choroidea.

2.1.2.8.2 Fibrose

Intravitreale Hämorrhagien werden nach KORBEL (2003) aufgrund der niedrigen fibrinolytischen Aktivität nur partiell resorbiert, was einerseits eine Einschränkung des Visus nach sich zieht und zum anderen über die Entstehung so genannter „traction bands“ eine Ablösung der Retina verursachen kann. BUYUKMIHCI (1985) beschreibt zudem das Vorkommen von intraokularer Fibrose als Folge chronischer Augenveränderungen.

2.1.2.9 Pathologische Veränderungen des gesamten Bulbus

An dieser Stelle soll auf okulare Veränderungen eingegangen werden, die keinem bestimmten Augensegment zugeordnet werden können, sondern vielmehr den Bulbus als Ganzes betreffen oder in ihrem Vorkommen nicht auf eine einzelne Struktur beschränkt sind.

2.1.2.9.1 Endophthalmitis und Panophthalmitis

Eine Endophthalmitis bezeichnet eine Entzündung aller inneren okularen Strukturen einschließlich der Augenbinnenräume allerdings exklusive der Tunica fibrosa bulbi (WILCOCK 2008), während bei einer Panophthalmitis auch letztere Schicht betroffen ist und es zudem zur Einbeziehung orbitaler Strukturen kommen kann (HENDRIX 2008). Beim Wildgreifvogel entstehen Endophthalmitiden bzw. Panophthalmitiden beispielsweise in Zusammenhang mit traumatischen Einflüssen mit nachfolgender Linsenruptur (WILLIAMS 1994), bakteriellen oder mykotischen Infektionen, einer Waldkauzkeratitis oder sind Folge nicht mehr nachweisbarer Verletzungen (GYLSTORFF und GRIMM 1998, KORBEL 1994).

2.1.2.9.2 Glaukom

Nach GELATT et al. (2008) ist „Glaukom“ ein Sammelbegriff für von unterschiedlichen Faktoren ausgelöste Erkrankungen, die mit einem erhöhten Augeninnendruck einhergehen und die dazu führen, dass die physiologische Funktion von Retina und Sehnerv eingeschränkt oder unterbunden wird. Nach LAWTON (1993) werden Glaukome beim Vogel sehr selten beobachtet und treten dann meist im Zusammenhang mit Traumata, einem Hyphaema oder auch iatrogen nach Katarakt-Operationen auf. Daher soll an dieser Stelle nicht näher auf die für den Säuger beschriebene genaue Einteilung eingegangen werden. In einer retrospektiven Studie dokumentierten MURPHY et al. (1982), dass 3,7 % der vorgestellten wild leben-

den Greifvögel während ihres stationären Aufenthaltes ein Glaukom entwickelten. Von diesen Tieren waren 90 % mit dem Vorbericht Trauma eingeliefert worden.

2.1.2.9.3 Bulbusruptur

Eine Ruptur des Bulbus ähnelt nach MARTIN (1995) makroskopisch einer Schnittverletzung. Sie wird verursacht durch ein stumpfes Trauma und resultiert in einem plötzlichen Abfall des intraokularen Druckes. Allerdings ist beim Vogel zu beachten, dass es durch den stützenden Skleralring nicht zu einem derartigen Kollaps des Bulbus kommt wie beim Säugetier (HENDRIX 2008). Sie kommt beim Vogel nicht sehr häufig vor, wird aber von BUYUKMIHCI (1985) bei wild lebenden Greifvögeln beschrieben.

2.1.2.9.4 Fremdkörper

Intraokulare Fremdkörper sind kein weit verbreitetes Problem, doch gerade bei wild lebenden Greifvögeln oder auch Beizvögeln müssen sie als mögliche Ätiologie okularer Veränderungen in Betracht gezogen werden (BUYUKMIHCI 1985, KORBEL 1994).

2.1.2.10 Angeborene Veränderungen

Es existieren beim Wildgreifvogel verschiedene angeborene Missbildungen, deren Inzidenz bisher möglicherweise unterschätzt wurde (BUYUKMIHCI et al. 1988). Als häufigste Missbildung wird dabei die Mikrophthalmie beobachtet, die meist mit einer erheblichen Dysorganisation des Augengewebes einhergeht. Auch das Auftreten von Mikrophakien, Missbildungen des Ziliarkörpers, der Choroidea, des Pekten sowie der Linse ist beschrieben (BUYUKMIHCI et al. 1988). KORBEL (1994) berichtet über das Auftreten eines Iriskoloboms als Zufallsbefund bei einem adulten Greifvogel. Bei Nachzuchten von in Gefangenschaft gehaltenen Uhus kann es nach GYLSTORFF und GRIMM (1998) und KORBEL (1994) zu retinalen Dysplasien kommen.

2.2 Sonographie

2.2.1 Geschichte der Sonographie in der Ophthalmologie

Da die Geschichte der okularen Sonografie bereits in vorangegangenen Arbeiten (u.a. DIETRICH 1996, GEVELHOFF 1996, LIZZI und COLEMAN 2004) ausführlich beschrieben wurde, soll diese nur kurz zusammengefasst werden, wobei zunächst die Entwicklungen in der Humanophthalmologie und im Anschluss diejenigen in der tierärztlichen Augenheilkunde umrissen werden.

2.2.1.1 Humanophthalmologie

Die Pioniere der okularen Sonografie in der Humanmedizin waren MUNDT und HUGHES (1956). Mit einem A-Bild-Verfahren gelang es ihnen einen intraokularen Tumor zu evaluieren. Damit konnten sie zeigen, dass die Sonografie das Potential besaß, als diagnostisches Hilfsmittel in der Ophthalmologie zum Einsatz zu kommen. In den darauffolgenden Jahren forcierten vor allem OKSALA und LEHTINEN (1957) den Einsatz des A-Mode bei der Diagnostik intraokularer Erkrankungen.

Der erste B-Mode wurde von BAUM und GREENWOOD (1958) entwickelt und arbeitete mit Immersionstechnik. Diese Technik wurde von PURNELL (1969) und COLEMAN et al. (1969) weiterentwickelt. Das erste B-Bild-Verfahren, das nach der Kontaktmethode funktionierte, entwickelten BRONSON und TURNER (1973) in den frühen 70er Jahren. Sie ebneten damit den Weg für ein einfaches und für den Patienten angenehmes diagnostisches Gerät. Später entwickelte OSSOINIG (1979) das Prinzip der standardisierten Echographie, einem kombinierten Verfahren aus A- und B-Mode, das für das verlässlichste Verfahren gehalten wird.

Mit der erstmaligen Beschreibung der Messung intraokularer Distanzen in den 1960er eröffnete GERNET (1965) den Weg für den Einzug der Biometrie in die okulare Sonografie.

Obwohl schon in den 1970er Jahren erstmalig in der Ophthalmologie angewendet, wurde die Dopplersonografie erst in den späten 1980er Jahren zur Untersuchung von intraokularen und intraorbitalen Veränderungen hinzugezogen (ERICKSON et al. 1989, FLAHERTY et al. 1991).

Zu den neuesten Entwicklungen gehört sicher die der Ultraschallbiomikroskopie durch PAVLIN et al. (1990) in den 90er Jahren, die durch die Entwicklung von PVDF-Schallköpfen möglich wurde. Bei Frequenzen von 20 bis 100 MHz ist die Untersuchung zwar aufgrund der geringen Eindringtiefe auf die anterior gelegenen Anteile des Auges beschränkt, doch die hohen Frequenzen erlauben eine sehr hohe Auflösung.

Die Sonografie hat sich über die Jahre als ein fester Bestandteil ophthalmologischer Untersuchungsmethoden etabliert und ist aus der modernen Augenheilkunde nicht mehr wegzudenken.

2.2.1.2 Veterinärophthalmologie

Die Sonographie fand ihren Einzug erstmals in die Veterinärmedizin, als KOCH und RUBIN (1969) sonografische Untersuchungen u.a. an Hundeaugen durchführten und anhand von Fallbeispielen verschiedene Veränderungen mittels A-Mode darstellten. SCHIFFER et al. (1982) und NEUMANN (1988) führten erste biometrische Messungen mittels A-Mode beim Hund durch.

Erste Untersuchung mit dem B-Mode Verfahren folgten Mitte der 80er Jahre durch MILLER (1985) an Hunden bzw. Katzen durch, wobei eine Netzhautablösung und ein retrobulbärer Prozess bei Katzen sowie eine Umfangsvermehrung im Bereich des Ziliarkörpers diagnostiziert wurden. In demselben Jahrzehnt wurden weitere Untersuchungen unter anderem von DZIEZYC et al. (1987) durchgeführt. Sie untersuchten die Eignung verschiedener Untersuchungstechniken, wobei sie feststellten, dass für die Untersuchung von Glaskörper, Fundus sowie des retrobulbären Raumes das Kornea-Kontaktverfahren am besten geeignet ist, während für die Untersuchung der anterior gelegenen okularen Strukturen die Verwendung einer Vorlaufstrecke angeraten werden sollte. 1989 verglichen COTRILL et al. (1989) den Einsatz von A- und B-Mode zur postmortalen Biometrie an Hundeaugen miteinander und kamen dabei zu dem Schluss, dass der B-Mode in der Tiermedizin das besser geeignete Verfahren sei.

Seither hat die Sonografie sowohl in der Kleintier- als auch in der Pferdemedizin Einzug gehalten und sich zu einem fest etablierten Verfahren entwickelt.

Obwohl der Visus für den Vogelpatienten – und hier besonders für den Greifvogel – von herausragender Bedeutung ist, gibt es zur Anwendung von Ultraschall in der Ornithoophthalmologie kaum Untersuchungen von größerem Umfang. Bei den wenigen in der Literatur beschriebenen Fällen handelt es sich um Einzelfälle, die sich an der beim Kleintier beschriebenen Vorgehensweise orientieren (CANTON et al. 1992, CARTER et al. 2007).

Die erste ausführlichere Untersuchung zur Anwendung von Sonografie am Vogelauge stellten DELOGU und VALENTINI (2000) vor. Im Rahmen ihrer Arbeit untersuchten sie gesunde und erkrankte Augen von 24 Eulen mittels B-Mode. Eine weitere Studie zum Einsatz der Sonografie am Greifvogelauge führten GUMPENBERGER und KOLM (2006) an 95 tag- und nachtaktiven Greifvögeln durch. Dabei verglichen sie den Einsatz von Sonografie und Computertomographie zur Evaluierung okulärer Veränderungen sowie zur Erhebung biometrischer Daten.

2.2.2 Physikalische Grundlagen

2.2.2.1 Was sind Ultraschallwellen

Nach POULSEN NAUTRUP (1998) versteht man unter Ultraschall Schallwellen, deren Frequenz oberhalb des für den Menschen hörbaren Bereiches von 16 bis 16 000 Hz liegt und sich zwischen 20 KHz und ca. 100 MHz bewegt. Die für den diagnostischen Ultraschall eingesetzten Frequenzen liegen in der Regel bei 1 - 10 MHz (FARROW 1996, GLADISCH 1993, POULSEN NAUTRUP 1998), in Ausnahmefällen auch bei bis zu 20 MHz.

Schallwellen gehören zu den mechanischen Wellen, die bei ihrer Fortbewegung an das Vorhandensein von Materie gebunden sind (FARROW 1996, GLADISCH 1993, POULSEN NAUTRUP 1998). Sie entstehen durch die zeitliche und räumliche Änderung des Zustandes einer Materie, wobei keine Fortbewegung im eigentlichen Sinn, sondern vielmehr ein Energietransport stattfindet, bei dem sich Zonen höherer und niedrigerer Moleküldichte abwechseln.

Der Schwingungszyklus selbst wird mittels der Wellenlänge λ (vgl. Formel 1) beschrieben, wobei v die Geschwindigkeit und f die Frequenz der Schallwelle ist.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Formel 1: Schwingungszyklus

Eine Phase, bei der Verdichtung und Verdünnung einmal vollständig durchlaufen wurden, wird als Periode bezeichnet (GÖTZ 1983). Das Maß der Perioden pro Zeiteinheit schließlich ist die Frequenz f einer Welle (vgl. Formel 2). Sie wird in der Einheit Hertz (Hz) ausgedrückt.

$$f = \frac{1}{s}$$

Formel 2: Frequenz einer Welle

2.2.2.2 Beeinflussung der Ultraschallwellen durch Gewebe

Das grundlegende Prinzip der Ultraschalldiagnostik ist das Reflexionsprinzip (GLADISCH 1993). Akustische Energie wird in ein Medium ausgesendet und wandert in Form einer elastischen Welle mit longitudinaler Ausbreitung durch das Gewebe, bis sie auf eine akustische Grenzfläche trifft. An dieser wird ein unterschiedlich großer Teil der Energie reflektiert, der als Echo zum Ausgangspunkt zurückkehrt (BYRNE und GREEN 2002, POULSEN NAUTRUP 1998).

Das Verhalten von Ultraschallwellen in Geweben wird dabei durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt (POULSEN NAUTRUP 1998). Hierzu gehören die Geschwindigkeit und die Intensität der Schallwellen, der Widerstand des durchdrungenen Gewebes, die Oberflächenbeschaffenheit und Größe der untersuchten Strukturen sowie der Winkel, mit denen Schallwellen auf eine akustische Grenzfläche treffen. Letzterer beeinflusst das weitere Geschehen der Schallwellen und bestimmt, ob sie reflektiert, gebrochen, gestreut, gebeugt oder auch transmittiert werden.

2.2.2.2.1 Intensität, Geschwindigkeit und Schallwellenwiderstand

Die Intensität einer Schallwelle wird durch ihre Amplitude bestimmt. Je größer diese ist desto mehr Energie besitzt die Schallwelle. Für den Untersucher bedeutet eine größere Amplitude eine hellere Darstellung auf dem Monitor (POULSEN NAUTRUP 1998). Sie wird in der Sonografie in Watt pro cm^2 ausgedrückt und bezeichnet den Energiefluss pro cm^2 (RANTANEN und EWING 1981)

Die Schallwellengeschwindigkeit v ist abhängig von Wellenlänge und Frequenz der Schallwelle einerseits sowie der Dichte und Elastizität des Mediums andererseits (BYRNE und GREEN 2002, POULSEN NAUTRUP 1998). In einem dichten – und damit weniger elastischen Medium – breiten sich die Schallwellen mit einer höheren Geschwindigkeit aus (GLADISCH 1993)

Der Schallwellenwiderstand Z (vgl. Formel 3) ist abhängig von Bindung der Moleküle und Trägheit der Elementarmassen und ist nach GÖTZ (1983) definiert als das Produkt aus Gewebedichte und Schallwellengeschwindigkeit.

$$Z = \rho \times c$$

Formel 3: Schallwellenwiderstand Z

2.2.2.2.2 Reflexion, Transmission und Brechung

Treffen Schallwellen senkrecht auf eine Grenzfläche zwischen zwei Geweben unterschiedlicher akustischer Impedanz, so wird ein Teil dieser Schallwellen ebenfalls mit einem Winkel von 90° zur Grenzfläche reflektiert und kehrt zum Ausgangspunkt zurück, wobei gilt dass der Einfallswinkel auch dem Ausfallswinkel entspricht (vgl. Abbildung 4). Die reflektierten Schallwellen stehen für den Bildaufbau zur Verfügung (FARROW 1996). Der nicht reflektierte Teil der Schallwellen setzt seinen Weg jenseits der Grenzfläche fort, ohne dass sich seine Ausrichtung ändert. Dies wird als Transmission bezeichnet (GÖTZ 1983).

Reflexion und Transmission werden bestimmt durch die akustische Impedanz der Grenzfläche. Als akustische Impedanz wird dabei der Unterschied des Schallwellenwiderstandes an der Grenzfläche zweier aneinander grenzender Gewebe bezeichnet (POULSEN NAUTRUP

1998). Je stärker sich die beiden Gewebe in ihrem Schallwellenwiderstand unterscheiden, desto größer ist der Anteil der Ultraschallwellen, die reflektiert werden. Umgekehrt führt ein geringer Impedanzunterschied zu einem größeren Anteil transmittierter Ultraschallwellen (BYRNE und GREEN 2002).

Sobald der Einfallswinkel kleiner ist als 90° , werden die Schallwellen nicht um 180° reflektiert, sondern sie werden jenseits der Grenzfläche gebrochen. Die reflektierten Wellen kehren zum großen Teil nicht zu ihrem Ursprung zurück. Nach MEIER (1989) vermindert eine Neigung von 5° die Stärke des Echos um das Zehnfache. Stärke und Richtung der Brechung werden dabei bestimmt von der akustischen Impedanz des nachfolgenden Gewebes (BYRNE und GREEN 2002). Schallwellen, die aus einem Medium mit höherer in eines mit niedriger Dichte übertreten, werden von der Senkrechten weg abgelenkt. Im umgekehrten Fall kommt es folglich zu einer Brechung in Richtung der Senkrechten (vgl. Abbildung 4).

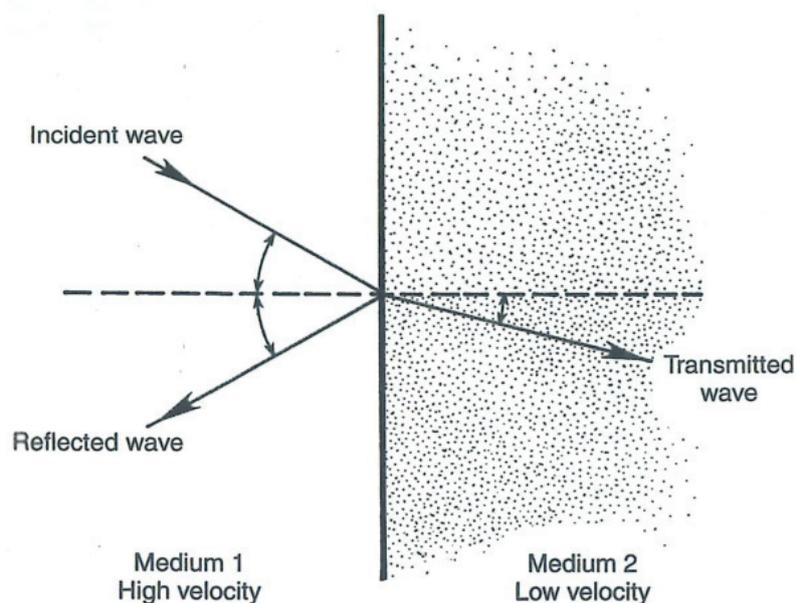


Abbildung 4: Verhalten von Schallwellen an Grenzflächen⁴

2.2.2.2.3 Streuung und Beugung

Zur Streuung kommt es, wenn Schallwellen auf sehr kleine Objekte oder solche mit einer rauen, unebenen Oberfläche treffen. Die Vielzahl unterschiedlicher Neigungswinkel führen zur ungerichteten Reflexion (BYRNE und GREEN 2002, POULSEN NAUTRUP 1998), wie in Abbildung 5 dargestellt ist.

⁴ (BYRNE und GREEN 2002)

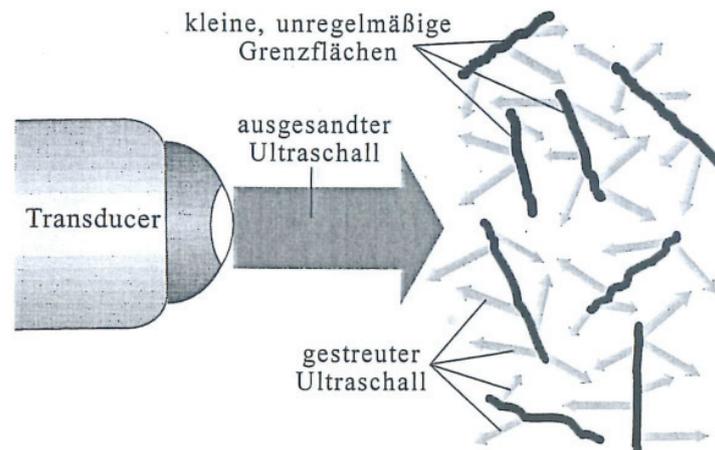


Abbildung 5: Ungerichtete Reflexion⁵

So unerwünscht die Streuung von Ultraschallwellen in vielen Fällen auch sein mag, so ist sie es jedoch, die die Darstellung auch runder Konturen erlaubt (GLADISCH 1993).

An stark reflektierenden, gebogenen Grenzflächen werden Schallwellen in den Schallschatten hinein gebeugt (POULSEN NAUTRUP 1998). Der Grad der Beugung ist dabei abhängig von der Wellenlänge und somit auch von der Frequenz. Je höher diese ist und je kürzer dadurch auch die Wellenlänge wird, desto weniger werden die Schallwellen gebeugt (GÖTZ 1983). Das Prinzip der Beugung wird in Abbildung 6 grafisch veranschaulicht.

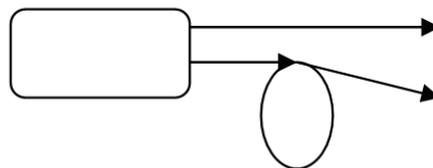


Abbildung 6: Prinzip der Beugung

2.2.2.2.4 Absorption und Dämpfung

Wenn Schallwellen Gewebe durchdringen, wird ein Teil ihrer Energie aufgrund von Reibung in Wärme umgewandelt und geht dadurch für den Bildaufbau verloren. Dieser Vorgang wird als Absorption bezeichnet und ist von der Dichte, Viskosität und Relaxationszeit des Gewebes abhängig – je höher diese ist, desto höher ist auch der Verlust an Schallenergie (FARROW 1996). Darüber besitzt die Höhe der verwendeten Frequenz einen Einfluss auf die Absorption. Eine höhere Frequenz führt zu einer höheren Absorption und demzufolge auch zu einer vermehrten Entstehung von Wärme. Dies bedeutet auch, dass Schallwellen mit einer hohen Frequenz nur eine geringe Eindringtiefe besitzen (GÖTZ 1983).

⁵ (POULSEN NAUTRUP 1998)

Je tiefer Ultraschallwellen in eine Materie eindringen, desto mehr nimmt ihre Intensität ab: Sie werden gedämpft. Dieser Vorgang ist umso ausgeprägter, je höher die gewählte Frequenz ist (GLADISCH 1993). Die Dämpfung von Ultraschallwellen ist der Grund dafür, dass Echos aus größeren Tiefen zu einem schwächeren Signal führen als solche, die von oberflächlichen Grenzflächen reflektiert werden, selbst wenn die Impedanzunterschiede der Grenzflächen gleich sind.

2.2.2.3 Artefakte

FARROW (1996) und MEIER (1989) beschreiben Artefakte als Kunstprodukte bildgebender Diagnostikverfahren. Dabei stellen sie sich als Strukturen dar, die nicht echt sind, die fehlen, die sich an der falschen Stelle befinden oder die eine falsche Form, Größe oder Helligkeit besitzen.

Ursachen finden sich in Schwächen des Equipments, fehlerhaften Einstellungen, in individuellen Besonderheiten des Patienten oder in Problemen bei der Bildverarbeitung. Das Erkennen von Artefakten ist von entscheidender Bedeutung bei der Interpretation und für die Vermeidung von Fehldiagnosen. Andererseits können sie jedoch unter Umständen zum Verständnis des Charakters einer Veränderung beitragen (GLADISCH 1993).

2.2.2.3.1 Wiederholungsechos - Reveberationen

Wenn Schallwellen senkrecht auf eine stark reflektierende parallel zum Transducer liegende Oberfläche treffen, können sie in der Zeit des Bildaufbaus zwischen der akustischen Grenzfläche und der Schallkopfoberfläche hin- und hergeworfen werden (MEIER 1989). Dies resultiert in mehreren auf einander folgenden Echos, wobei die Abstände zwischen den Echos zwar gleich bleiben, ihre Intensität jedoch immer schwächer wird (FARROW 1996). Dabei kann das Wiederholungsecho sich sowohl vor als auch hinter der stark reflektierenden Grenzfläche zeigen. Wiederholungsechos können auch bei ungenügender Ankopplung des Schallkopfes an die zu untersuchende Oberfläche entstehen.

Das Kometenschweif-Artefakt ist eine besondere Form des Wiederholungsartefaktes, das vermutlich durch multiple interne Wiederholungsechos innerhalb eines sehr kleinen Reflektors wie beispielsweise Gas entsteht (GLADISCH 1993).

2.2.2.3.2 Widerspiegelung

Das Artefakt der Widerspiegelung ist zu unterteilen in die spiegelnde und die diffuse Reflexion (MEIER 1989). Zur spiegelnden Reflexion kommt es, wenn der Schallstrahl auf eine glatte, sich senkrecht zu ihm befindliche Struktur trifft. Das reflektierte Echo ist ziemlich stark und führt zu einer sehr hellen Abbildung. Gleichzeitig wird bei runden, flüssigkeitsgefüllten Strukturen auch die hintere Wand durch die transmittierten Schallstrahlen ebenfalls stark echogen abgebildet. Zur diffusen Reflexion kommt es unter anderem an senkrechten Grenz-

flächen mit rauer Oberfläche. Die Ablenkung der Schallwellen resultiert in einem unruhigen, fleckigen Bild.

2.2.2.3.3 Rauschen

Unter Rauschen versteht man multiple kleine bis mittelgroße oft mehr oder weniger unregelmäßige Echos, die meist durch eine zu große Gesamtverstärkung verursacht werden und besonders in echofreien Gebieten störend wirken (GLADISCH 1993).

2.2.2.3.4 Gewebsabschwächung

Alle hierzu führenden Faktoren wurden bis auf eine Ausnahme bereits unter 2.2.2.2 erläutert und sollen daher lediglich kurz erwähnt werden. Es handelt sich um Reflexion, Brechung, Beugung, Streuung, Absorption und Strahlendivergenz (MEIER 1989, SCANLAN 1991, GLADISCH 1993). Darüber hinaus existiert das Phänomen der Schallverstärkung, welches durch die Zusammensetzung des Gewebes bestimmt wird: So wird Gewebe, welches sich distal von flüssigkeitsgefüllten Strukturen befindet, mit einer höheren Echogenität dargestellt als es tatsächlich besitzt. Der Grund hierfür liegt darin, dass Flüssigkeiten Schallwellen weniger stark abschwächen und nachfolgende Grenzflächen daher mit einer höheren Energie getroffen werden.

2.2.2.3.5 Schallschatten

Ein Schallschatten tritt distal von sehr dichten Strukturen wie beispielsweise Knochen, Metall oder auch Gas auf, die durch hohe Impedanzsprünge zu einer Totalreflexion führen. Das nachfolgende Gewebe stellt sich bei einem kompletten Schallschatten einheitlich schwarz dar (GLADISCH 1993).

2.2.2.3.6 Brechung

Die Brechung von Schallwellen an Grenzflächen unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit führt dazu, dass nachfolgende reflektierende Strukturen in der falschen Tiefe angezeigt werden (MEIER 1989).

2.2.2.3.7 Schallkeulenartefakt

Dieses Artefakt findet seine Ursache in einem reduzierten lateralen Auflösungsvermögen bzw. im Vorhandensein von Nebenkeulen im Schallstrahl. Dadurch werden Strukturen, die sich neben der optischen Achse befinden, vom Schallkopf fälschlicherweise in die Mitte des Schallstrahls verlagert (FARROW 1996).

2.2.2.3.8 Schichtdickenartefakt

Besitzt der Schallstrahl eine große laterale Ausdehnung – etwa im Nah- oder Fernfeld – und trifft mit einem Teil der Schallwellen auf eine Flüssigkeit und mit dem anderen auf das umliegende solide Gewebe, so wird aus den empfangenen Signalen ein Mittelwert errechnet.

Dadurch wird die flüssigkeitsgefüllte Struktur weniger anechogen dargestellt während der Randbereich durch den reduzierten Kontrast verwaschen wirkt (SCANLAN 1991).

2.2.2.4 Schäden durch Ultraschall

2.2.2.4.1 Schädigungsmechanismen

Schädigungsmechanismen durch Ultraschall können grundsätzlich unterteilt werden in physikalische, chemische, biologische sowie sonstige Schädigungsmechanismen. An dieser Stelle sollen jedoch nur die physikalischen Schädigungsmechanismen Erwähnung finden, da sich in der Literatur keine Hinweise für eine Relevanz der übrigen Schädigungsmechanismen durch diagnostischen Ultraschall beim Wirbeltier finden (STRAHLENSCHUTZKOMMISSION 1998).

Wie bereits erwähnt, entsteht bei der Absorption von Ultraschallwellen Wärme. Das Ausmaß der Wärmeentstehung ist abhängig von der Schallwellenintensität, der Dauer der Beschallung, der Stärke der Absorption und der Kapazität des Wärmetransportes durch das Blut. Letztere ist bei einer kurzzeitigen Exposition jedoch zu vernachlässigen (STRAHLENSCHUTZKOMMISSION 1998).

In Flüssigkeiten können während der Verdünnungsphase der Periode Hohlräume (Pseudokavitationen bzw. Kavitationen) entstehen, die bei erhöhtem Druck während der Verdichtungsphase wieder in sich zusammenfallen. Durch bereits existierende Gasblasen können dabei lokal eng begrenzte Druckwerte über 100 MPa und Temperaturen über 1000°C entstehen. Nach ROTT (1981) wurde dieser Schädigungsmechanismus bei diagnostischem Ultraschall bisher nicht beschrieben.

2.2.2.4.2 Schäden am Auge

Durch die Applikation sehr hoher Schallintensitäten konnten in der Vergangenheit verschiedene Schäden durch Ultraschallwellen nachgewiesen werden. Hierzu gehören die Verflüssigung des Glaskörpers und die Entstehung von Katarakten (TORCHIA et al. 1967) sowie von Ödemen in Iris oder Ziliarkörper (BAUM 1964). Zudem kann die fokussierte Ultraschallexposition in Abhängigkeit von Expositionsdauer und der insgesamt zugeführten Energie chorioretinale Läsionen verursachen (PURNELL et al. 1964). BAUM (1964) stellte fest, dass die Linse in besonderem Maße für durch Ultraschall verursachte Insulte empfänglich ist und eine übermäßige Exposition gegenüber Ultraschallwellen sich zunächst in der Entstehung von Katarakten manifestiert.

2.2.2.4.3 Sicherheit von diagnostischem Ultraschall

Das American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM) hatte bis 1978 keine Schädigungen beschrieben, wenn Säugetiergewebe Intensitäten von unter 100 mW/cm² ausgesetzt wird

(AIUM 1997). BAUM (1964) fand heraus, dass die Exposition von $1,0 \text{ W/cm}^2$ über einen Zeitraum von weniger als drei Minuten keine bleibenden Schäden am Auge hinterlässt.

Nach Angaben der STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (1998) wird beim diagnostischen B-Mode das Gewebe nicht merklich erwärmt. Auch Kavitationswirkungen treten nicht auf. Nach RANTANEN und EWING (1981) liegt die Intensität beim diagnostischen Ultraschall zwischen 3 und 10 mW/cm^2 , sodass der maximal tolerierbare Grenzwert nicht überschritten wird.

ZISKIN et al. (1974) untersuchten die Auswirkung von Continuous-Wave (CW)-Doppler auf okulare Strukturen und konnten auch bei lang andauernder Exposition keine pathologischen Veränderungen nachweisen, die auf diagnostischen Ultraschall zurückzuführen sind.

Die STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (1998) empfiehlt zur Vermeidung von Risiken die Ausgangsleistung so niedrig wie möglich zu halten und stattdessen mit einer hohen Gesamtverstärkung zu arbeiten.

2.2.3 Technische Grundlagen

2.2.3.1 Bildentstehung

Die an der Bildentstehung beteiligten Elemente sind der Transducer bzw. Wandler, der Pulser und der Empfänger.

Das Grundelement des Transducers sind ein oder mehrere piezoelektrische Kristalle, die in Abhängigkeit der Schallkopfform in einer bestimmten Gestalt angeordnet sind und sich nahe der Schallkopfoberfläche befinden (FARROW 1996, POULSEN NAUTRUP 1998). Diese werden durch elektrische Energie zu mechanischen Vibrationen angeregt, die in einer longitudinalen Ultraschallwelle resultieren, welche an das benachbarte Gewebe abgegeben wird. Gleichzeitig reagieren sie auf mechanische Einflüsse wie beispielsweise die Verformung durch ein aus dem Gewebe zurückkehrendes Echo mit einer Änderung ihrer Ladung (RANTANEN und EWING 1981). Dieses elektrische Signal wird durch den nachgeschalteten Pulser registriert. Der Pulser besitzt somit zwei Funktionen: Senden und Empfang. Die Zahl der Pulse pro Sekunde wird als PRF – Pulse-Repetition-Frequency – bezeichnet (POULSEN NAUTRUP 1998). Der Empfänger verstärkt schließlich das elektrische Signal und verarbeitet dieses so, dass es auf dem Bildschirm dargestellt werden kann.

2.2.3.2 Preprocessing

Unter dem Begriff Preprocessing werden alle Möglichkeiten der Einflussnahme auf die Schallwellen bezeichnet, die vor deren Aussendung vorgenommen werden können (FARROW 1996).

2.2.3.2.1 Frequenz

Durch Wahl der Frequenz können die Darstellungsqualität und die Eindringtiefe bestimmt werden. Eine hohe Frequenz führt zu einer besseren Bildqualität, allerdings ist aufgrund der stärkeren Absorption die Eindringtiefe begrenzt, bei einer niedrigeren Frequenz ist es umgekehrt.

2.2.3.2.2 Gesamtverstärkung (Gain)

Die Gesamtverstärkung (Gain, Einheit Dezibel, dB) führt zu einer Verstärkung von Echos aus allen Gewebetiefen. Die vom Schallkopf ausgesendete Energie bleibt unverändert, lediglich die Intensität der Darstellung eines wiederkehrenden Echos auf dem Monitor wird variiert. Je höher die Gesamtverstärkung ist, desto besser können auch schwache Signale auf dem Bildschirm dargestellt werden. Um die Entstehung von Artefakten zu vermeiden, sollte sie so niedrig wie möglich gewählt werden (MEIER 1989).

2.2.3.2.3 Zeitabhängige Verstärkung (TGC)

Mit der zeitabhängigen Verstärkung bzw. Time Gain Compensation (TGC) wird ausgeglichen, dass Echos aus größeren Tiefen aufgrund von Absorption, Reflexion und Streuung schwächer abgebildet werden als vergleichbare Echos aus oberflächlicheren Gewebeschichten. Die Verstärkung erfolgt unter Annahme mittlerer Schallgeschwindigkeit, Reflexion, Absorption und Streuung automatisch in Abhängigkeit von der Zeit, die die Schallwellen von ihrer Aussendung bis zu ihrer Rückkehr benötigen.

2.2.3.2.4 Enhancement

Durch die Enhancement-Funktion lassen sich Echos definierter Reflexionsqualität gezielt verstärken, was dem Untersucher das Hervorheben ausgewählter Strukturen erlaubt.

2.2.3.2.5 Dynamik

Die Dynamik erlaubt die Messung der Ultraschallintensität und bezeichnet den Abstand zwischen dem schwächsten und stärksten Echo, das registriert werden kann. Eine große dynamische Breite erlaubt die Darstellung auch feiner Unterschiede, allerdings ist die Bandbreite der Intensitäten, die abgebildet werden können, limitiert. Bei einer geringen dynamischen Breite wiederum stellt sich das Bild „härter“ dar. Es können jedoch auch sehr starke oder sehr schwache Echos abgebildet werden.

2.2.3.3 Schallfeldgeometrie, Fokussierung und Auflösung

Die Gestalt eines Schallfeldes wird auch als Schallkeule bezeichnet (vgl. Abbildung 7). Diese kann untergliedert werden in das sich unmittelbar an den Schallkopf anschließende konvergierende Nahfeld, das divergierende Fernfeld und eine sich zwischen beiden Feldern befindende Einschnürungszone, den natürlichen Fokus (GLADISCH 1993, RANTANEN und

EWING 1981, POULSEN NAUTRUP 1998). Im natürlichen Fokus kommt es besonders bei hohen Frequenzen und großflächigen Schallquellen zu einer Bündelung ebenso wie zu einer Intensitätssteigerung der Schallwellen, sodass die Auflösung in diesem Bereich am größten ist.

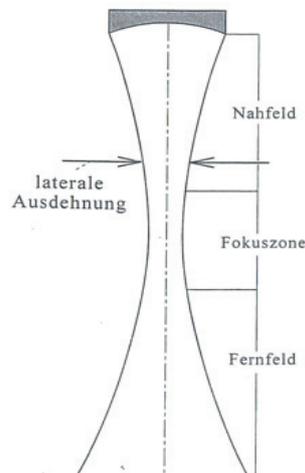


Abbildung 7: Schallfeldgeometrie⁶

Durch die Fokussierung wird der natürliche Fokus so platziert, dass sich das Objekt des Interesses in diesem Bereich befindet. Sie kann elektrisch oder mechanisch beeinflusst werden (FARROW 1996).

Die Auflösung in der Sonografie kann unterteilt werden in axial und lateral (RANTANEN und EWING 1981). Die axiale Auflösung bezeichnet den minimal möglichen Längenabstand zweier Punkte, der gerade noch eine getrennte Darstellung erlaubt (BYRNE und GREEN 2002). Unter der lateralen Auflösung versteht man folglich den kleinsten Abstand, bei dem zwei auf einer Linie senkrecht zum Schallstrahl gelegene Punkte noch als solche abgebildet werden können. Im Zentrum der Keule ist die Abbildung aufgrund des starken Schalldruckes besonders gut (GLADISCH 1993).

2.2.3.4 Transducer

Grundsätzlich existieren drei verschiedene Formen von Transducern, die durch die Anordnung der piezoelektrischen Kristalle bestimmt werden (POULSEN NAUTRUP 1998): Linear- oder Parallelschallkopf, Sektorschallkopf und Konvexschallkopf. Da im Rahmen dieser Arbeit ein Linearschallkopf verwendet wurde, soll lediglich dieser genauer erläutert werden.

Beim Linearschallkopf ist eine große Zahl von piezoelektrischen Kristallen nebeneinander angeordnet (GLADISCH 1993). Bei jedem Impuls werden benachbarte Elemente gruppen-

⁶ (POULSEN NAUTRUP 1998)

weise angesteuert und eingeschaltet. Beim nächsten Impuls wird die Gruppe um ein Element verschoben, was eine gute Schallfeldgeometrie und eine gute laterale Auflösung ergibt (POULSEN NAUTRUP 1998).

Die Vorteile des Linearschallkopfes liegen in seiner einfachen Handhabung und seiner großen Schnittfläche. Er erlaubt eine rasche Übersicht bei in allen Tiefen gleich guter Qualität. Durch das gezielte Ansteuern von Elementen sind verschiedene Fokussierungen möglich. Ein Nachteil besteht in seiner großen Auflagefläche.

2.2.4 Untersuchungsverfahren

Von den verschiedenen sonografischen Verfahren haben sich in der diagnostischen Sonografie die so genannten Echtzeit-Verfahren etabliert. Grundsätzlich kann nach POULSEN NAUTRUP (1998) sowie BYRNE und GREEN (2002) unterschieden werden zwischen A-Mode, B-Mode, M-Mode als Sonderform des B-Modus sowie der Dopplersonografie

2.2.4.1 B-Bild-Verfahren (Brightness-Mode)

Der B-Mode ist ein Verfahren, bei dem die Stärke des Echos durch die unterschiedliche Helligkeit des korrespondierenden Punktes auf dem Monitor wiedergegeben wird. Je stärker das empfangene Signal ist, desto heller ist auch die Darstellung auf dem Monitor (FARROW 1996). Bei den zweidimensionalen Verfahren werden die Echos sowohl entlang einer Geraden als auch durch eine Vielzahl von Bildzeilen nebeneinander abgebildet, sodass virtuelle Schnittbilder der untersuchten Region angefertigt werden können (GLADISCH 1993).

Der zweidimensionale B-Mode ist nach KREMKAU (1989) sowie WILLIAMS et al. (1995) in der Veterinärphthalmologie die Methode der Wahl. Es existieren zwei verschiedene zweidimensionale B-Bild-Verfahren:

- Compound-Verfahren
- Real-Time-Verfahren

In diesem Abschnitt soll lediglich das zweidimensionale Real-Time-Verfahren, das auch als schnelles B-Bild bezeichnet wird, erläutert werden.

Beim Real-Time-Verfahren – heute nach POULSEN NAUTRUP (1998) in der veterinärmedizinischen Sonografie die Methode der Wahl – entsteht durch einen fortwährenden Bildaufbau der Eindruck eines bewegten Bildes (RANTANEN und EWING 1981). Dabei werden zwischen 20 und 50 – und teilweise sogar noch mehr – Bilder pro Sekunde aufgebaut. Der Scan-Vorgang läuft bei diesem Verfahren automatisch ab (POULSEN NAUTRUP 1998).

2.2.4.1.1 Echogenität

Die Darstellung biologischer Gewebe wird bestimmt durch Echostärke, Echogröße und Echodichte sowie Echoverteilung. Die Echogenität schließlich bezeichnet die Eigenschaft von Geweben, beziehungsweise deren Grenzflächen, Ultraschallwellen zu reflektieren. Die Echostärke kann nach POULSEN NAUTRUP (1998) in vier verschiedene Grade unterteilt werden:

Gleichmäßig schwarz – also anechogen – stellen sich Gewebe dar, die keine Grenzflächen aufweisen, so z.B. Flüssigkeiten wie das Kammerwasser oder auch der Glaskörper. Hypoechogene Strukturen setzen sich aus vereinzelt feinen, schwachen, mittel- bis dunkelgrauen Einzelechos zusammen. Als echogen werden Gewebe bezeichnet, deren sonografisches Bild aus zahlreichen gleichmäßig verteilten, feinen bis mittelfeinen hell- bis mittelgrauen Einzelechos mittlerer Dichte aufgebaut ist. Die hellste Stufe bilden schließlich die hyperechogenen Strukturen: Grenzflächen mit großen Impedanzunterschieden stellen sich auf dem Monitor weiß bis hellgrau dar.

Die Art der Echoverteilung bestimmt die Homogenität des Gewebes. Eine ebene Echoverteilung führt zu einer homogenen, eine ungleichmäßige zu einer inhomogenen Gewebetextur. In ihrer Gesamtheit erlauben all diese Eigenschaften die Charakterisierung unterschiedlicher Gewebetypen.

2.2.5 Okulare Sonographie

2.2.5.1 Indikation

Es existieren verschiedene pathologische Veränderungen, bei deren Evaluation eine sonografische Untersuchung des Auges angezeigt ist.

Besondere Bedeutung besitzt die Sonografie für die Untersuchung von Patienten, bei denen die Transparenz des dioptrischen Apparates nicht mehr gegeben ist und die Untersuchung posterior gelegener okulärer Strukturen somit eingeschränkt oder sogar ausgeschlossen ist (ATTA 1999, GUTHOFF und GUTHOFF 1987, GUTHOFF et al. 1999, HEIDER 1998, WILLIAMS et al. 1995).

Weitere Indikationen sind nach WILLIAMS und WILKIE (1996) das Vorliegen eines okularen Traumas mit oder ohne intraokulare Hämorrhagien, die Evaluation von Linsenluxationen und Retinaablösungen, der Verdacht auf intraokulare oder intraorbitale Fremdkörper und Umfangsvermehrungen sowie das Vorliegen eines Ex- oder auch Enophthalmus. ATTA (1999) weist darauf hin, dass bei der sonografischen Untersuchung von Augen mit bereits diagnostizierten Veränderungen oft zusätzliche pathologische Zustände festgestellt werden, die zuvor nicht erkannt worden waren.

Die Durchführung biometrischer Messungen ist unter anderem im Vorfeld operativer Eingriffe angezeigt, bei denen das Einsetzen einer Kunstlinse geplant ist und somit eine Berechnung der Brechkraft erforderlich ist (HEIDER 1998). Auch bei einem Glaukom, Mikrophthalmie, Makrophthalmie oder Phtisis bulbi kann die Biometrie den Tierarzt in der Diagnosefindung unterstützen (GONZÁLEZ et al. 2001).

2.2.5.2 Untersuchungsmethoden

Prinzipiell kann hier unterschieden werden zwischen der Kornea-Kontaktmethode, bei der der Transducer bei geöffneten Lidern direkt auf die Kornea (bzw. die Sklera) aufgesetzt wird, der transpalpebralen Methode, bei der durch die geschlossenen Lider hindurch geschallt wird und Verfahren, bei denen Vorlaufstrecken verwendet werden.

Die Kontakt-Methode führt im Vergleich zur transpalpebralen Methode zu einer besseren Darstellung und wird in der Literatur vor allem zur Untersuchung von posterior gelegenen Strukturen empfohlen (DZIEZYC et al. 1987). Allerdings erlaubt die Verwendung einer ausreichenden Menge an Ultraschallgel auch bei diesem Verfahren eine Untersuchung anterior gelegener Bereiche (WILLIAMS et al. 1995).

Für die Untersuchung des Auges empfehlen POULSEN NAUTRUP et al. (1998) Methylcellulose oder spezielles, für die ophthalmologische Sonografie bestimmtes Ultraschallgel um die Ankopplung des Schallkopfes an die Kornea zu gewährleisten, während WILLIAMS et al. (1995) von der Verwendung von Cellulose abraten. In der Literatur wird oftmals auch die Verwendung von konventionellem Ultraschallgel beschrieben (HERNÁNDEZ-GUERRA et al. 2007, PLUMMER et al. 2003). Nach der Untersuchung sollte das Auge mit physiologischer Kochsalzlösung (POULSEN NAUTRUP 1998) oder handelsüblichen Augenspüllösungen (WILLIAMS et al. 1995) gespült werden.

2.2.5.3 Untersuchungsebenen

Da der B-Mode ein zweidimensionales Verfahren ist, sind für die exakte Evaluierung dreidimensionaler Organe verschiedene Untersuchungsebenen erforderlich. BYRNE und GREEN (2002) bezeichnen drei primäre Ebenen, in denen eine sonografische Untersuchung durchgeführt werden kann: transversal, longitudinal sowie axial. Abbildung 8 stellt die verschiedenen Untersuchungsebenen dar.

Bei der transversalen und der longitudinalen Untersuchungsebene wird der Schallkopf nicht auf der Kornea sondern auf der Konjunktiva bzw. Sklera positioniert. In diesen Ebenen wird die Linse mit dem Schallstrahl umgangen, was eine bessere Auflösung zur Folge hat. Sie sind deshalb nach BYRNE und GREEN (2002) in der Humanmedizin die am häufigsten angewendeten Methoden.

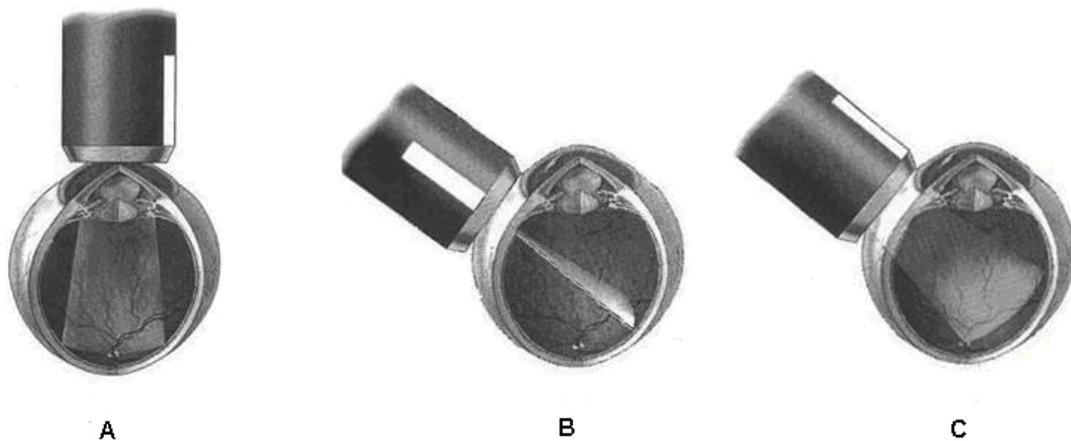


Abbildung 8: Axiale (A), transversale (B) und longitudinale (C) Untersuchungsebene

In der Veterinärmedizin wird in der Regel die axiale Untersuchungsebene verwendet (GONZÁLEZ et al. 2001).

Die Bezeichnung der schrägen Ebenen erfolgt nach Uhrzeiten. Dabei ist jedoch nicht der Aufsatzpunkt des Schallkopfes ausschlaggebend sondern beim transversalen Scan der „gegenüberliegende“ abgebildete Bereich, sodass bei Ansatz auf 6 Uhr ein 12-Uhr-Bild entsteht. Beim longitudinalen Scan wiederum wird die Untersuchung nach dem Meridian bezeichnet, entlang dessen die Schallwellen das Auge durchlaufen. Auch hier führt der Ansatz auf 6 Uhr zur Benennung nach 12 Uhr (BYRNE und GREEN 2002).

Eine standardisierte Bildwiedergabe wird durch eine auf dem Schallwandler befindliche Markierung gewährleistet, die dem Untersucher als Orientierung dient. Konventionell wird das untersuchte Gewebe so abgebildet, dass die Orientierungsmarke der linken Seite des Bildes auf dem Monitor entspricht.

Die im folgenden erläuterten Untersuchungsebenen orientieren sich an der von BYRNE und GREEN (2002) beschriebenen Vorgehensweise.

2.2.5.3.1 Transversaler Scan

Die durch die Markierung definierte Linie des Schallkopfes liegt stets tangential zur Pupille. Es können vertikale, horizontale und sowie schräge transversale Ebenen unterschieden werden. Die Markierung des Schallkopfes zeigt dabei bei der vertikalen und der schrägen Ebene dorsal, bei der horizontalen Ebene jedoch nasal. Das Schallbündel führt zu Bildern, die quer zum Meridian liegen. Somit kann mit dieser Technik die laterale Ausdehnung einer Läsion bestimmt werden.

2.2.5.3.2 Longitudinaler Scan

Die Markierung des Schallkopfes weist hier – vergleichbar mit den Speichen eines Rades – zentral auf die Kornea, sodass die verschiedenen Schallkopf-Positionen denen von Radspeichen entsprechen. Das ausgesandte Schallbündel läuft entlang des Meridians und zeigt die anterior-posterior Ausdehnung einer Läsion. Bei Sonden mit kleiner Auflagefläche kann durch das Verschieben des Schallkopfes Richtung Limbus oder Fornix eine bessere Darstellung entweder der posterior, bzw. peripher gelegenen Strukturen erreicht werden.

2.2.5.3.3 Axialer Scan

Bei der axialen Ausrichtung wird der Schallwandler mittig auf die Kornea aufgesetzt und auf den Nervus opticus ausgerichtet. Es existieren vertikale und horizontale axiale Ebenen. Bei der vertikalen Ebene zeigt die Markierung dorsal, in der horizontalen nasal. Ein Vorteil des axialen Scans liegt darin, dass er sehr leicht nachzuvollziehen ist, nachteilig wirkt sich wiederum aus, dass es durch die im Schallstrahl liegende Linse zu Brechung und Dämpfung der Schallwellen kommt, was zu einer schlechteren Auflösung der posterior gelegenen Abschnitte führen kann.

Zusätzlich sind verschiedene paraxiale Ebenen beschrieben, bei denen die Schallwellen zwar durch die Linse gesendet werden, die Position des Schallkopfes aber leicht nasal, temporal, dorsal, ventral oder auch schräg variiert wird.

2.2.5.4 Physiologische Darstellung okularer Strukturen

Das Auge ist aufgrund seines anatomischen Aufbaus sowie seiner leicht zugänglichen topographischen Lage sehr gut für die Untersuchung mittels Ultraschall geeignet.

In der Literatur werden die einzelnen okularen Strukturen bezüglich ihrer sonografischen Darstellung sehr einheitlich beschrieben, sodass Unterschiede zwischen den einzelnen Tierarten und auch dem Menschen kaum ins Gewicht fallen (EL-MAGHRABY et al. 1995, GUMPENBERGER und KOLM 2006, GUTHOFF et al. 1999, HOFFMANN und KÖSTLIN 2004, POTTER et al. 2008).

Im Folgenden soll die von den oben genannten Autoren bei Mensch (GUTHOFF et al. 1999), Hund und Katze (HOFFMANN und KÖSTLIN 2004), Rind (POTTER et al. 2008) sowie Vogel (GUMPENBERGER und KOLM 2006) dokumentierte Darstellung okularer Strukturen erläutert werden.

Die sonografische Darstellung der Kornea zeigt zwei gebogene hyperechogene Linien mit einem zwischen beiden Linien befindlichen hypo- bis anechogenen Band, welches dem Stroma entspricht. Die äußere Linie repräsentiert das Korneaepithel und die Basalmembran, die innere Linie die Descemet-Membran sowie das Korneaendothel.

Die vordere Augenkammer stellt sich im physiologischen Zustand gleichmäßig anechogen dar. Eine Darstellung der hinteren Augenkammer ist mit konventionellem Ultraschall laut der oben genannten Quellen nicht möglich.

Die Linse wird durch zwei konvex gebogene hyperechogene Linien dargestellt, die der vorderen und hinteren Linsenkapsel entsprechen. Die hintere Linsenkapsel ist weniger stark gebogen als die vordere (ROGERS et al. 1986). Zwischen beiden Linien befindet sich das anechogene Stroma.

Iris und Ziliarkörper werden als Strukturen mittlerer Echogenität abgebildet, die anterior bzw. lateral der Linse lokalisiert sind, wobei sich die Textur des Ziliarkörpers als leicht inhomogen darstellt. Nach GUTHOFF et al. (1999) und ROGERS et al. (1986) ist der Ziliarkörper im physiologischen Zustand nur eingeschränkt darstellbar.

Den Glaskörper bezeichnen GUMPENBERGER und KOLM (2006), HOFFMANN und KÖSTLIN (2004), POTTER et al. (2008), EL-MAGHRABY et al. (1995) und GUTHOFF et al. (1999) als zwischen der Linse und der hinteren Wand des Bulbus gelegenen Bereich, welcher sich physiologisch vollkommen anechogen darstellt.

Die Bulbuswand stellt sich als eine breite hyperechogene gebogene Struktur dar. EL-MAGHRABY et al. (1995) sowie GUTHOFF et al. (1999) bezeichnen sie als diejenige okuläre Struktur, die die höchste Echogenität besitzt.

GUMPENBERGER und KOLM (2006) beschreiben den Pecten als eine in den Glaskörper ragende Struktur mittlerer Echogenität, die mitunter einen Schallschatten verursacht.

Der Sehnerv wird durch eine kegelförmige hypoechogene Struktur repräsentiert, die sich deutlich vom echogenen retrobulbären Gewebe abhebt (GUMPENBERGER und KOLM 2006). Nach POTTER et al. (2008) versucht der Kopf des Sehnerven eine Schallauslöschung, was eine Messung von dessen Durchmesser ermöglicht.

Die Augenmuskeln werden als tangential des Bulbus laufende längliche Strukturen mittlerer Echogenität dargestellt, die etwas geringer ausgeprägt ist als diejenige des umgebenden Gewebes (BYRNE und GREEN 2002, POTTER et al. 2008).

2.2.5.5 Biometrie

Die Durchführung biometrischer Messungen am Auge dient verschiedenen Zwecken. So unterstützt sie den Tierarzt bei der Diagnose pathologischer Veränderungen wie Luxationen oder Subluxationen, Glaukom, Mikrophthalmie, Makrophthalmie oder Phtisis bulbi. Zudem ist die Bestimmung der Linsenparameter essentiell bei der Durchführung von Katarakt-Operationen mit nachträglicher Implantation einer künstlichen Linse, um deren Brechkraft und Größe exakt anpassen zu können (COTRILL et al. 1989, GONZÁLEZ et al. 2001). Nach

GEVELHOFF (1996) ist sie zudem dafür geeignet Therapieerfolge an nicht einsehbaren Augen zu überprüfen.

2.2.5.5.1 Messpunkte und -verfahren

In der Literatur werden verschiedene Messpunkte und -verfahren beschrieben. HERNÁNDEZ-GUERRA et al. (2007) bestimmten mittels B-Mode in horizontaler Ebene vier okulare Distanzen (vgl. Tabelle 1), wobei sie jeweils drei Messungen durchführten, deren Mittelwert sie anschließend berechneten. HAMIDZADA und OSUOBENI (1999) führten an enukleierten Augen von Dromedaren biometrische Messungen anhand derselben Vorgehensweise durch. Die von ihnen gewählten Messpunkte können Tabelle 2 entnommen werden. Schließlich bestimmten BOROFFKA et al. (2006) sechs okulare Parameter in vertikaler und horizontaler Bildebene bei Hunden (vgl. Tabelle 3).

2.2.5.5.2 Messgenauigkeit

Bezüglich der Genauigkeit von mittels Ultraschall durchgeführten biometrischen Messungen kann unterschieden werden zwischen

- Vergleichbarkeit der grundsätzlichen Genauigkeit von A- und B-Mode
- Vergleichbarkeit von B-Mode-Sonografie und direkten Messungen
- Reproduzierbarkeit von Messwerten durch unterschiedliche Untersucher

Vor allem der erstere Punkt soll an dieser Stelle näher untersucht werden, da bei der Durchführung biometrischer Messungen in der Literatur die Verwendung des A-Mode zumeist als überlegen bewertet wird (COLEMAN 1979, HAMIDZADA und OSUOBENI 1999, OSSOINIG 1979). Zur Übereinstimmung von Messwerten, die mit A- und B-Mode bestimmt wurden, gibt es widersprüchliche Aussagen. HAMIDZADA und OSUOBENI (1999) wiesen an frisch enukleierten Kamelaugen nach, dass das B-Mode-Verfahren im Vergleich zum A-Scan dazu tendierte, den Durchmesser der Kornea zu überschätzen, während die gemessenen Werte von tiefer liegenden Strukturen wie Linse, Glaskörper und Gesamtlänge des Bulbus zu niedrig angegeben wurden. Hierfür machten sie Artefakte verantwortlich, die durch Änderung der Laufzeiten im Gewebe und durch Brechung hervorgerufen werden. COTRILL et al. (1989) fanden hingegen keine signifikanten Abweichungen bei der Durchführung biometrischer Messungen an zwei Hunderassen mittels A- und B-Mode, sodass auch das B-Bild-Verfahren zur Messung intraokularer Distanzen herangezogen werden kann. EL-MAGHRABY et al. (1995) empfehlen den Einsatz des B-Mode-Verfahren sogar, da dieses dem Tierarzt aufgrund der weiten Verbreitung vertraut und die Handhabung einfach ist.

Messparameter	Ursprung der Messung	Ansatz der Messung
M1	Vorderes Korneaepithel	Vordere Linsenkapsel
M2	Vordere Linsenkapsel	Hintere Linsenkapsel
M3	Hintere Linsenkapsel	Retina
M4	Vorderes Korneaepithel	Retina

Tabelle 1: Intraokulare Messparameter bei HERNÁNDEZ-GUERRA et al. (2007)

Messparameter	Ursprung der Messung	Ansatz der Messung
Kornea	Vorderes Korneaepithel	Hinteres Korneaendothel
Vordere Augenkammer	Hinteres Korneaendothel	Vordere Linsenkapsel
Linse axial	Vordere Linsenkapsel	Hintere Linsenkapsel
Glaskörper axial	Hintere Linsenkapsel	Retina
Bulbus Gesamtlänge	Summe aller Messungen	

Tabelle 2: Intraokulare Messparameter bei HAMIDZADA und OSUOBENI (1999)

Messparameter	Ursprung der Messung	Ansatz der Messung
Kornea	Vorderes Korneaepithel	Hinteres Korneaendothel
Vordere Augenkammer	Hinteres Korneaendothel	Vordere Linsenkapsel
Linse axial	Vordere Linsenkapsel	Hintere Linsenkapsel
Linse transversal	Maximaler Durchmesser des Linsenäquators	
Bulbus excl. hintere Wand	Vorderes Korneaepithel	Retina
Bulbus incl. hintere Wand	Vorderes Korneaepithel	Sklera außen

Tabelle 3: Intraokulare Messparameter bei BOROFFKA et al. (2006)

Zudem schränkt die häufig begrenzte Kooperation der Tiere den Einsatz des A-Mode ein. ROGERS et al. (1986) untersuchten die Übereinstimmung intraokularer Distanzen die mittels sonografischer Messungen am frisch enukleierten Auge von Pferden sowie direkt mittels Schublehre am eingefrorenen Auge erhoben worden waren. Sie kamen dabei zu dem Schluss, dass es nicht zu statistisch signifikanten Unterschieden zwischen den beiden Verfahren kam und die B-Mode-Sonografie somit zur Messung intraokularer Distanzen geeignet ist.

In einer Studie an Beagles untersuchten BOROFFKA et al. (2006) schließlich die Reproduzierbarkeit biometrischer Messungen am Auge, die ein- und derselbe Untersucher durchgeführt hatte. Dabei stellte sich heraus, dass es vor allem bei der Messung der Bulbus-Gesamtlänge und unilateral bei der Bestimmung des axialen Linsendurchmessers zu statistisch signifikanten Abweichungen kam.

2.3 Pathologisch-anatomische Untersuchung des Auges

Da zur postmortalen Dokumentation im Rahmen einer Dissertation (RAVELHOFER 1996) bereits ausführliche Untersuchungen durchgeführt wurden, soll hier nur ein kurzer Überblick über das in der Literatur empfohlene Vorgehen gegeben werden.

Die Fotografie besitzt einen besonderen Stellenwert zur Darstellung medizinischer Befunde, kann aber auch für die Illustration im Rahmen von Publikationen, für die Information von Patienten und die Kommunikation bei unklaren Befunden herangezogen werden (BENGEL 1994). Sie hat sich für die Dokumentation und Illustration sowohl physiologischer als auch pathologischer Verhältnisse auch in der Vogelmedizin bewährt und wird von KORBEL (1990 a) als ein wichtiges Bindeglied zwischen Klinik und Wissenschaft bezeichnet.

2.3.1 Entnahme, Fixation und Präparation

Für die Entnahme von Augen beim Vogel sind in der Literatur verschiedene Techniken beschreiben (KERN 2008, MURPHY et al. 1983). Darüber hinaus beschreiben SAUNDERS und RUBIN (1975) Methoden zur Eukleation im Zuge pathologischer Untersuchungen und schließlich existieren mit der lateralen und der transpalpebralen Eukleation verschiedene Techniken zur Bulbusexstirpation beim Säugetier (SLATTER 1990).

Für die anschließende Fixierung enukleierter Augen geben RAVELHOFER (1996), COLLIER (1993) und VETTER (1992) eine Standardfixierung aus 10 %igem gepufferten Formalin an, wobei die vordere Augenkammer nach Möglichkeit mittels Parazentese mit der Fixationslösung aufgefüllt werden sollte um ein Kollabieren der vorderen Augenkammer zu vermeiden (RAVELHOFER 1996). Nach WERTHER (2011) sind die Augen nach 24 h vollständig mit Formalin durchtränkt und fixiert und können somit ab diesem Zeitpunkt geschnitten werden. Für die Kalottierung der Bulbi beschreibt RAVELHOFER (1996) eine Schnitttechnik, bei welcher die Augen in eine kleinere dorsotemporale und eine größere ventronasale Hälfte geteilt werden (vgl. Abbildung 9).

2.3.2 Fotografische Dokumentation

Die fotografische Dokumentation sollte unter reproduzierbaren, im Idealfall standardisierten, Bedingungen angefertigt werden, wobei der Bildinhalt weitestgehend reduziert und die Objekte immer ganzheitlich wahrgenommen werden sollten (BENGEL 1994).

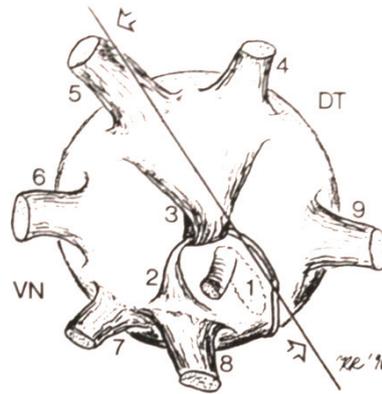


Abbildung 9: Schnittführung bei der Bulbuskalottierung des rechten Auges⁷

Ein wichtiger Punkt bei der Makrofotografie ist die gewünschte Vergrößerung des zu fotografierenden Objektes. Hierfür sind die gängigen Makro-Objektive gut geeignet. Bei der Verwendung von Standard-Objektiven ist im Vorfeld eine genaue Berechnung der Vergrößerung erforderlich (KORBEL 1994).

Um eine große Tiefenschärfe zu erzielen, sollte die Blende so klein wie möglich gewählt werden. Zwar führt eine kleine Blende zu einer maximalen Tiefenschärfe, allerdings kommt es gleichzeitig zu einer unerwünschten Beugung bzw. Brechung des Lichtes, sodass hier ein Kompromiss gefunden werden muss (BLAKER 1977).

Die Belichtung sollte stets einfach und reproduzierbar gewählt werden (BLAKER 1977). Dabei gilt es sowohl Über- als auch Unterbelichtung zu vermeiden. Generell ist zu berücksichtigen, dass kleine Objekte mehr Licht benötigen als größere und dass es bei einer Verdoppelung des Abstandes zum Objekt zu einer vierfachen Abnahme des Lichtes kommt (BENGEL 1994). BLAKER (1977) und SNOW (1977) empfehlen, die Blende manuell einzustellen und die erforderliche Belichtung mithilfe eines Lichtmessers zu bestimmen. Bei der Auswahl von Blende und Belichtungsdauer sollte dabei auf eine automatische Auswahl verzichtet werden, da anatomische Strukturen in der Regel andere Qualitäten besitzen als diejenigen, auf die die Software von Digitalkameras eingestellt ist. Für eine ausreichende Beleuchtung bei gleichzeitiger Vermeidung einer Farbverschiebung in Richtung rot sowie der Vermeidung von Wärmeentwicklung ist die Blitzbeleuchtung das Mittel der Wahl (BLAKER 1977). KORBEL (1990 a) empfiehlt hierfür die Verwendung von zwei in Zangenposition angeordneten Elektronenblitzen, wodurch kontrastreichere, plastischere Aufnahmen möglich sind. Um partielle Schattenbildungen zu vermeiden, sollten die Blitze nahe der optischen Achse platziert werden, wobei eine Rotation der Blitze um das Objekt möglich sein sollte (BENGEL 1984). Die Ausrichtung der Blitze orientiert sich an der Beschaffenheit des Objek-

⁷ (RAVELHOFER 1996) modifiziert nach SLONAKER (1918)

tes und sollte nach BENGEL (1994) anhand entsprechender Versuchsreihen getestet werden.

Für die fotografischen Aufnahmen empfehlen RAVELHOFER (1996), das Auge mit Wasser aufzufüllen, um dadurch das Auftreten von Reflexionen zu verringern. Die Kamera sollte sich dabei vertikal über dem Objekt befinden, welches zentral vor einem unauffälligen, möglichst einfarbigen, mit dem Präparat harmonisierenden Hintergrund positioniert wird (ELLIOT und ELLIOT 1916, KORBEL 1990 a). Eine erhöhte Positionierung des Objektes, wofür BLAKER (1977) einen Abstand von 10-15 cm vom Hintergrund empfiehlt, führt zum Verschwinden des Hintergrundes in der Unschärfezone sowie einer schattenfreien Darstellung (BENGEL 1984). Nach KORBEL (1990 a) eignen sich hierfür Stative mit einem Makroarm, welche eine millimetergenaue Verschiebung der Kamera erlauben und gleichzeitig eine absolute Bewegungslosigkeit garantieren.

3 Material und Methoden

3.1 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Einsatzmöglichkeiten der Sonografie am Auge von Wildgreifvögeln zu untersuchen, wobei zum einen die Methodik für die Darstellung der einzelnen anatomischen Strukturen und zum anderen Erscheinung und Darstellbarkeit anatomischer Strukturen und pathologischer Veränderungen untersucht und gleichzeitig die Grenzen der Ultraschalldiagnostik diskutiert werden. Die mittels Sonografie erhobenen Befunde werden zum großen Teil mithilfe von Fundusfotografien bzw. postmortal durchgeführten Untersuchungen evaluiert und auf ihre Richtigkeit hin überprüft. Darüber hinaus werden die anhand gesunder Augen erhobenen Referenzwerte für die intraokularen Strukturen der am häufigsten vorkommenden Wildgreifvogel dokumentiert, um so zukünftig als Grundlage für die Erkennung pathologischer Veränderungen herangezogen werden zu können. Weiterhin sind die Verträglichkeit der Ultraschalluntersuchungen und die Toleranz durch den Vogelpatienten Thema der vorliegenden Arbeit.

3.2 Materialbeschreibung

In diesem Abschnitt werden die im Rahmen der Arbeit verwendeten Materialien erläutert. Zunächst soll auf die untersuchten Tiere eingegangen werden und im Anschluss die bei den einzelnen Untersuchungsgängen (ophthalmologische Untersuchung, Sonografie, postmortale Untersuchung und Dokumentation) verwendeten Instrumente und Materialien beschrieben werden.

3.2.1 Probanden

Von Juli 2008 bis Oktober 2009 wurden 139 wildlebende Greifvögel aus drei verschiedenen Ordnungen sowie neun verschiedenen Arten untersucht, die aus verschiedenen Gründen in die Klinik für Vögel der LMU München eingeliefert wurden. Es wurden augengesunde Tiere und Individuen mit okularen Veränderungen untersucht, wobei nur augengesunde adulte Tiere für die Erstellung von Referenzwerten herangezogen wurden.

In Tabelle 4 findet sich eine genaue Aufschlüsselung der untersuchten Vogelarten, die Anzahl der untersuchten Individuen und – soweit bekannt – die Geschlechtszugehörigkeit. Da die meisten der untersuchten Vogelarten keinen Geschlechtsdimorphismus aufweisen, konnte in vielen Fällen jedoch keine Aussage über das Geschlecht des Tieres gemacht werden. War aus diagnostischen Gründen eine endoskopische Untersuchung erforderlich, so erfolgte in diesem Zusammenhang eine Bestimmung des Geschlechtes. Bei euthanasierten Vögeln

wurde dieses später im Rahmen der pathologischen Untersuchung festgestellt und nachträglich mit den Untersuchungsergebnissen abgeglichen.

Da es sich bei den untersuchten Tieren um wild lebende Tiere handelte, war eine Aussage über das Alter nur eingeschränkt möglich.

	männlich	weiblich	juvenil	unbestimmt	gesamt
Accipitriformes					49
Mäusebussard Buteo buteo (L. 1758)	10	11	-	14	35
Sperber Accipiter nisus (L. 1758)	3	7	1	1	12
Habicht Accipiter gentilis (L. 1758)	1	-	-	1	2
Falconiformes					33
Turmfalke Falco tinnunculus (L.1758)	4	10	10	9	33
Strigiformes					57
Schleiereule Tyto alba (L. 1758)	-	3	5	8	16
Waldohreule Asio otus (L. 1758)	2	1	-	8	11
Waldkauz Strix aluco (L. 1758)	1	2	-	15	18
Steinkauz Athene noctua (L.1758)	-	-	-	7	7
Uhu Bubo bubo (L. 1758)	-	1	1	3	5

Tabelle 4: Probanden und Artenverteilung

Der Anteil der Tiere mit veränderten Augen betrug 33,8 % (n=47), wobei die Augenveränderungen in 57,5 % der Fälle (n=27) bilateral zu finden waren. Abbildung 10 zeigt die Verteilung der Augenveränderungen auf die verschiedenen okularen Strukturen. Hierbei fällt auf, dass sich 72,2 % der Veränderungen im Bulbus posterior befinden.

Allerdings lagen in 63,5 % der Augen (n=47) multiple Veränderungen vor, sodass nicht nur eine Struktur betroffen war, sondern mehrere Anteile des Auges Veränderungen zeigten.

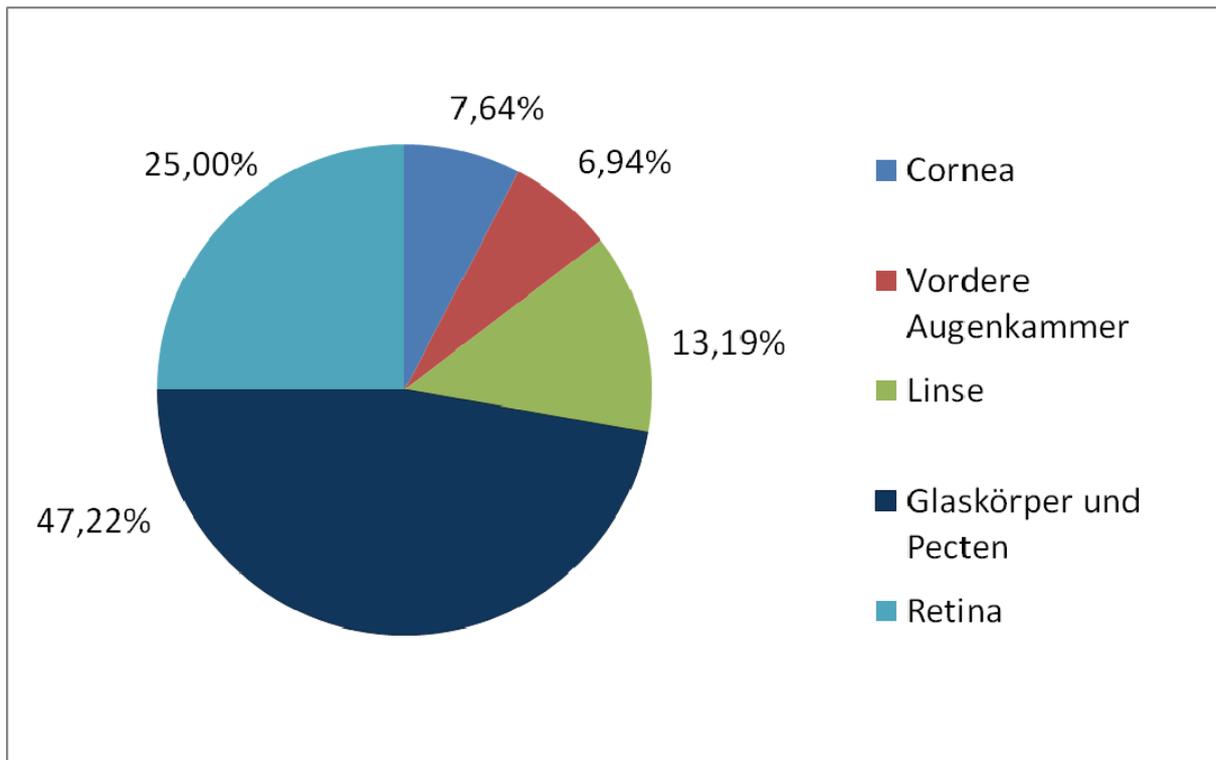


Abbildung 10: Lokalisation der okularen Veränderungen

3.2.2 Material für die ophthalmologische Untersuchung

3.2.2.1 Spaltlampe

Bei der verwendeten Spaltlampe handelt es sich um das Fabrikat Kowa SL 15⁸, welches über drei variierbare Spaltbreiten (0,1, 0,2, 0,8 mm) bzw. eine mit „0“ bezeichnete Stufe verfügt. Zudem besitzt die Spaltlampe drei stufenweise regulierbare Lichtintensitäten sowie einen integrierten Cobalt-Blaufilter. Eine Untersuchung des Auges kann bei 10- bzw. 16-facher Vergrößerung erfolgen.

3.2.2.2 Diaskleralkegel

Der hier zum Einsatz kommende Diaskleralkegel wird in Verbindung mit dem Otoskop Heine Beta NT 3,5V⁹ verwendet und erlaubt eine einfache direkte Untersuchung des Auges. Durch die Linse des Patienten kommt es zu einer 5-7-fachen Vergrößerung des untersuchten Areals, allerdings ist der einsehbare Bereich des Augenhintergrundes stark eingeschränkt.

⁸ Fa. Kowa, Tokio (Japan)

⁹ Fa. Heine, Herrsching (Deutschland)

3.2.2.3 Kopfbandophthalmoskop

Die indirekte binokulare ophthalmoskopische Untersuchung wird mit Hilfe des Kopfbandophthalmoskopes Heine Omega 100⁹ durchgeführt. Dieses besitzt drei unterschiedliche Lichtfarben (weiß, blau, grün) sowie drei unterschiedliche Lichtintensitäten bzw. unterschiedlich große Durchmesser des Lichtkegels.

3.2.2.4 Ophthalmoskopierlupen

Zusätzlich werden für die indirekte Ophthalmoskopie die Linsen „Double Aspheric“¹⁰ in der Brechkraft von 30 und 78 Dioptrien verwendet. Mit deren Hilfe wird ein vergrößerter Ausschnitt des Augenhintergrundes spiegelbildlich dargestellt. Die unterschiedlich starke Brechkraft der Linsen erlaubt eine Anpassung an die Bulbusgröße. Da Greifvögel einen relativ großen Bulbus besitzen, kommt bei ihnen im Regelfall eine Lupe mit 30 Dioptrien zum Einsatz. Die Lupe mit 78 Dioptrien besitzt eine stärkere Brechkraft und kann bei Turmfalken oder in Fällen, in denen auf die Induktion einer Mydriasis verzichtet wird, verwendet werden.

3.2.2.5 Tonometer

Mittels des Tonometers Tono-Pen® XL¹¹ wurde der Augeninnendruck gemessen um so Hinweise auf eventuell vorliegende Veränderungen des intraokularen Druckes (IOD) zu erhalten.

3.2.2.6 SDO-Kamera

Die SDO-Augenkamera SDO-A¹², mit der Aufnahmen des Fundus möglich sind, wurde nicht standardmäßig verwendet, kam jedoch bei Vogelpatienten mit ungewöhnlichen oder sehr stark ausgeprägten Veränderungen zum Einsatz.

3.2.3 Material für die sonografische Untersuchung

Zu den Materialien der sonografischen Untersuchung gehörten

- Ultraschallgerät
- Schallkopf
- Verbrauchsmaterial

Im Folgenden werden die einzelnen Materialien der sonografischen Untersuchung kurz erläutert.

¹⁰ Fa. Volk Optical Inc., Mentor (USA)

¹¹ Mentor Corporation, Santa Barbara (USA)

¹² Fa. Wild medtec, Wien (Österreich)

3.2.3.1 Ultraschallgerät

Die sonografischen Untersuchungen dieser Arbeit wurden mit dem portablen Fabrikat Voluson i¹³ durchgeführt. Dieses Gerät ist durch sein Laptopformat sowie durch seine Unabhängigkeit von externen Stromquellen flexibel einsetzbar.

Es erlaubt Untersuchungen im B-, M-, CFM- und PW-Mode bzw. Farbduplex sowie mittels Power Doppler. Die Bildverarbeitung erfolgt mithilfe verschiedener Bildverarbeitungstechnologien wie CRI (Compound Resolution Imaging) und SRI2 (Speckle Reduction Imaging). Im B-Mode stellt das Gerät bei maximal 1024 Bildzeilen 256 Graustufenwerte dar. Es kann zwischen drei verschiedene Frequenzstufen „low“, „normal“ sowie „resol“ gewählt werden. Der Voluson i verfügt über alle gängigen Möglichkeiten des Preprocessing, wie Gain, TGC, PRF, Dynamik oder Enhancement. Die wichtigsten technischen Daten sind in Abbildung 11 dargestellt.

Biometrische Messungen können als Distanzen bzw. Flächen entweder an archivierten Bildern vorgenommen oder auch unmittelbar am Standbild durchgeführt und im Anschluss daran gespeichert werden. Die Speicherung und Archivierung der Daten ist dabei sowohl auf dem Gerät selbst als auch auf externen Medien wie DVD oder externen Festplatten möglich, die über eine USB-Schnittstelle mit dem Ultraschallgerät verbunden werden können.

¹³ Fa. GE (General Electrics) Healthcare Ultraschall Deutschland GmbH, Solingen (Deutschland)

Ultraschallgerät Voluson i



- Mobiles Gerät im Laptop-Format
- Digitale Bildverarbeitung
- 256 Graustufen
- Messfunktionen für Strecken im Standbild und nach Abschluss der Untersuchung
- 3 Foci
- Zoomfunktion (-0,8 bis +3,4-fach)
- 9 stufenweise wählbare Eindringtiefen
- Alle gängigen Möglichkeiten des Preprocessing :
 - Gain (-15 bis +15 dB in 1dB-Stufen)
 - Regler für stufenlos variierbare TCG
 - Enhancement (6 Stufen)
 - Dynamik (12 Stufen)
- Dopplerfunktionen:
 - CFM (Farbdoppler)
 - PW-Doppler (Pulsed-Wave-Doppler)
 - Gatebreite von 0,7 bis 15 mm
 - PRF (100 Hz bis 11 kHz)

Abbildung 11: Ultraschallgerät Voluson i

3.2.3.2 Ultraschallsonde

Das Ultraschallgerät wurde zusammen mit der Small Parts 4-D Linearsonde RIC5-9RS verwendet. Diese verfügt über eine Ultra-Breitbandtechnik von 5 - 18,4 MHz sowie einer Scanbreite von 38mm. Durch die 192 Kanal-Technologie erlaubt sie eine besonders feine artefaktfreie Darstellung. In der Humanmedizin findet sie beispielsweise Verwendung für Untersuchungen des Auges, der Mamma, Thyreoidea oder des vaskulären Systems. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit erfolgten in der höchsten Frequenzstufe, die bei ca. 17 MHz liegt.

Abbildung 12 zeigt die verwendete Ultraschallsonde und fasst die für diese Arbeit relevanten technischen Daten zusammen.

Ultraschallsonde R SP 6 – 16 RS/SM P

<ul style="list-style-type: none">• Linearschallkopf• 192 Piezoelektrische Elemente• Frequenz: 5,6 – 18,4 MHz• Eindringtiefe: ca. 37,4 mm• Gewicht: 376 g• Auflagefläche: 52 x 52 mm

Abbildung 12: Linearsonde R SP 6 – 16 RS/SM P

3.2.3.3 Verbrauchsmaterial

Zum Verbrauchsmaterial gehörten Ultraschallgel, Lokalanästhetikum, physiologische Kochsalzlösung sowie Handtücher.

Aus logistischen Gründen kamen im Laufe der Studie zwei verschiedene Fabrikate zum Einsatz: Dabei handelte es sich zunächst um das Ultraschallgel der Firma Dispomed¹⁴, welches später durch das Fabrikat der Firma Sonogel®¹⁵ ersetzt wurde. Beide Fabrikate sind für die Anwendung am Auge geeignet, wirken bakterizid und erlauben eine gute Ankoppelung.

Zur Anästhesie der sehr sensiblen Kornea wurde das Lokalanästhetikum Oxybuprocain-Hydrochlorid (Conjuncain® EDO®)¹⁶ verwendet, wobei beachtet werden musste, dass die Wirksamkeit von Lokalanästhetika bei den verschiedenen Vogelarten stark variiert (SCHOTT 1987). Bei den hier untersuchten Vogelarten erwies sich das Lokalanästhetikum als wirksam.

Da im Rahmen der Untersuchung in der Regel eine relativ große Menge an Ultraschallgel verwendet wurde, um einerseits im Sinne einer Vorlaufstrecke die Kompression der vorderen Augenkammer und zum anderen eine mechanische Schädigung der Hornhaut durch den direkten Kontakt mit dem Schallkopf zu vermeiden, befanden sich häufig noch Gelreste auf der Hornhaut und im periorbitalen Gefieder. Daher wurden beide Augen mit reichlich angewärmter physiologischer Kochsalzlösung gespült. Das Gel im Gefieder wurde mit einem weichen Handtuch vorsichtig entfernt. Gleichzeitig diente das Handtuch dazu, ein weiteres Durchnässen der Federn während der Augenspülungen zu verhindern.

3.2.4 Material für die postklinische Dokumentation

Mithilfe der postklinischen Dokumentation sollten die im Rahmen der sonografischen Untersuchung festgestellten Veränderungen verifiziert und dokumentiert und dadurch die Aussagekraft der sonografischen Untersuchung beim Vogelpatienten evaluiert werden. Hierfür wurden die Bulbi kalottiert, fotografiert und anschließend vergrößert am PC betrachtet. Vor der Kalottierung wurden die Bulbi in Formalin (10 %) fixiert und aufbewahrt.

Für die anschließende Dokumentation wurden folgende Geräte verwendet, deren Aufbau in Abbildung 13 abgebildet ist:

- Digitalkamera
- Blitze einschließlich Stativ
- Freistellungsvorrichtung

¹⁴ Fa. Dispomed Witt oHG, Gelnhausen (Deutschland)

¹⁵ Fa. Sonogel®, Bad Camberg (Deutschland)

¹⁶ Fa. Bausch&Lomb, Berlin (Deutschland)



Abbildung 13: Aufbau für die Fotografie der Augenpräparate

Die fotografische Dokumentation erfolgte mit einer Digitalkamera Nikon 80D¹⁷ und dem Makroobjektiv Nikon AF-S Micro NIKKOR 60 mm 1:2.8 G ED⁸.

Zur optimalen Ausleuchtung der beiden Bulbushälften wurden zwei Blitze verwendet, die auf bewegliche Arme aufgesetzt wurden, welche mit einem Stativ¹⁸ verbunden waren. Bei den Blitzen handelte es sich um die Fabrikate Novoflex Makroblitz und Novoflex Makroblitz Servo¹⁸. Ersterer war direkt mit der Kamera verbunden und wurde beim Betätigen des Auslösers automatisch mit ausgelöst. Die Auslösung des zweiten Blitzes erfolgte mittels eines Lichtsensors, der auf das Licht desjenigen Blitzes reagierte, der mit der Kamera verbunden war.

Die für die Aufnahmen der Augen verwendete Freistellungsrichtung (vgl. Abbildung 13) bestand aus einem ca. 15 cm langen Holzstab, der mit einem Plastikfuß versehen war. Durch die erhöhte Positionierung des Auges wurde dessen Freistellung vom Hintergrund erreicht. Auf das obere Ende des Stabes wurde eine aus Knetmasse geformte und mit einer Kuhle versehene Kugel platziert, in die die kalottierten Bulbi gelegt wurden. Um einen farb-

¹⁷ Fa. Nikon, Tokio (Japan)

¹⁸ Fa. Novoflex, Memmingen (Deutschland)

lich einheitlichen Hintergrund zu erhalten, wurde eine schwarze Kunststoffmatte über den Fuß gelegt.

3.3 Untersuchungsmethodik

Der Untersuchungsgang erfolgte prinzipiell stets nach demselben Schema, allerdings waren die Zeiten zwischen den einzelnen Schritten teilweise sehr variabel, da sie von der Verfassung des Vogels sowie dessen Prognose abhängig gemacht werden mussten.

Alle Vögel wurden nach ihrer Einlieferung in die Klinik einer klinischen Untersuchung unterzogen. Hierzu gehörte in der Regel auch eine röntgenologische Untersuchung unter Allgemeinanästhesie sowie bei entsprechenden Auffälligkeiten während der klinischen Untersuchung eine Blutuntersuchung, um ein möglichst genaues Bild über den Zustand des Tieres zu erhalten.

Jungvögel bildeten hier in der Regel eine Ausnahme, da sie zumeist als gesunde Ästlinge in die Klinik eingeliefert wurden und somit keine genaue klinische Aufarbeitung benötigten.

Da menschlicher Kontakt die stressvollste Situation darstellt, in die ein Wildvogel kommen kann (SCHOTT 1987), wurde bei der Untersuchung entsprechend den Empfehlungen von BECKER (2001) darauf geachtet, den Stress für den Vogelpatienten so weit wie möglich zu minimieren. Hierzu wurden alle erforderlichen Vorbereitungen im Voraus getroffen, unnötige Geräusche während der Untersuchung vermieden und so zügig wie möglich gearbeitet. Die erforderliche Fixation des Patienten erfolgte in Anlehnung an FORD et al. (2007).

3.3.1 Die ophthalmologische Untersuchung

Die ophthalmologische Untersuchung erfolgte in der Regel – gegebenenfalls nach erforderlicher Stabilisierung des Patienten – im Rahmen der unter Allgemeinanästhesie durchgeführten röntgenologischen Untersuchung.

Da Vögel aufgrund der quer gestreiften Pupillarmuskulatur nicht auf die beim Säuger angewendeten Mydriatika ansprechen (KORBEL 1992), ist hierfür die Anwendung anderer Methoden erforderlich:

In den meisten Fällen konnte die durch die Narkose induzierte Mydriasis zur Untersuchung genutzt werden. Bei Eulenvögeln wurde zusätzlich die bei dieser Spezies häufig vorkommende Schreckmydriasis genutzt (KAMPINSKY und CLUBB 1986). Bei Patienten, bei denen sich hier Hinweise auf gravierende Schädigungen der intraokularen Strukturen ergaben, erfolgte zu einem späteren Zeitpunkt die Induktion einer Mydriasis mittels intracameraler Applikation von 0,02 – 0,03 ml einer 3 %igen d-Tubocurarin-Lösung (KORBEL 2000, KARPINSKI und CLUBB 1983).

Da die narkoseinduzierte Mydriasis nicht sehr lange anhält, wurde die konventionelle Reihenfolge der ophthalmologischen Untersuchung umgekehrt und es wurde zunächst die indirekte binokulare Ophthalmoskopie des Augenhintergrundes durchgeführt. Die weiteren Untersuchungen orientierten sich an der üblichen Reihenfolge. Die Beschreibung der einzelnen Untersuchungsabschnitte erfolgt aufgrund des besser nachvollziehbaren Aufbaus jedoch in der konventionellen Reihenfolge.

3.3.1.1 Allgemeine ophthalmologische Untersuchung

Im Rahmen der allgemeinen ophthalmologischen Untersuchung wurden nach den Empfehlungen von MIKAELIAN et al. (1994) beide Augen vergleichend betrachtet. Dabei wurden zunächst die okularen Adnexe beurteilt, wobei besonders auf Asymmetrien der Lider, der Bulbuslage und der Schädelkonturen, Schwellungen, Hämatome, Hautverletzungen, Epiphora, Chemosis, Lakrimation, Sekretion oder auch Blepharospasmus geachtet wurde. Auch die Untersuchung der Ohröffnung erfolgte an dieser Stelle. Hierbei war bei Eulenvögeln eine Betrachtung der lateral und posterior gelegenen Abschnitte des Bulbus möglich. Der Visus wurde mithilfe der Drohreaktion überprüft. Es folgten die Distanzuntersuchungen im seitlich auffallenden sowie durchfallenden Licht, um Tiefe und Inhalt der vorderen Augenkammer, Iris- und Linsenschlottern, vordere Linsen- oder tiefe Hornhauttrübungen feststellen zu können, sowie die Distanzuntersuchung im reflektierten Licht zur Beurteilung der Transparenz

3.3.1.2 Spezielle ophthalmologische Untersuchung

Zur speziellen ophthalmologischen Untersuchung gehörten die Spaltlampenbiomikroskopie, die direkte monokulare Ophthalmoskopie mittels Diaskleralkegel, die indirekte binokulare Ophthalmoskopie mittels Kopfbandophthalmoskop sowie die Tonometrie.

Im Anschluss an die allgemeine ophthalmologische Untersuchung erfolgte die Untersuchung der Vögel mittels Handspaltlampen-Biomikroskopie, mit der Kornea, vordere Augenkammer, Vorderfläche der Iris und Linse auf Veränderungen hin untersucht wurden.

Mithilfe eines Kopfbandophthalmoskopes und einer Ophthalmoskopierlupe, welche zwischen das Auge des Untersuchers und das des Vogels eingebracht wurde, erfolgte die Untersuchung des Augenhintergrundes. Dabei wurde vor allem auf Trübungen und unphysiologischen Inhalt des Glaskörpers (Blut, Fibrin), Veränderungen der Retina in Form von Netzhautablösungen, -atrophien, Entzündungen (Chorioretinitiden, Chorioiditiden, Retinitiden) und Veränderungen des Pekten wie beispielsweise partielle oder vollständige Abrisse, Blutungen oder degenerative Veränderungen des Augenfächers geachtet.

Die tonometrische Evaluierung des intraokularen Druckes wurde nicht bei jedem Vogel sondern lediglich bei Verdacht auf Vorliegen eines Glaukoms oder einer Uveitis durchgeführt.

Dabei wurden an jedem Auge drei Messungen vorgenommen, der Mittelwert gebildet und mit den Referenzwerten der jeweiligen Vogelart verglichen.

3.3.2 Die sonografische Untersuchung

Der Zeitpunkt der sonografischen Untersuchung orientierte sich am Zustand des Vogels. Wurde bereits nach der klinischen bzw. ophthalmologischen Untersuchung eine infauste Prognose für das Tier festgestellt, erfolgte diese so rasch wie möglich, um weiteres unnötigen Leiden für das Tier zu vermeiden. Gegebenenfalls erhielt dieses vor Durchführung der okularen Sonografie eine analgetische Versorgung mit Butorphanol (Torbugesic®, 1 mg/kg i.m.)¹⁹

Vögel mit günstiger Prognose wurden zunächst der jeweils erforderlichen Therapie zugeführt und erst dann sonografisch untersucht, wenn sie stabilisiert und bezüglich ihres Allgemeinbefindens unauffällig waren. Lagen zwischen der ersten ophthalmologischen und der sonografischen Untersuchung mehr als 24 Stunden, so wurde erstere vor der Ultraschalluntersuchung wiederholt.

3.3.2.1 Vorbereitung und Fixation der Probanden

Vor Durchführung der Untersuchung wurde anhand der bisher erhobenen Befunde und des aktuellen Allgemeinbefindens überprüft, ob der zu untersuchende Vogel für die Untersuchung ausreichend stabil war. Für die sonografische Untersuchung wurde das Tier in einem ausreichend großen Handtuch in aufrechter Position zwischen den Oberschenkeln der untersuchenden Person fixiert.

3.3.2.2 Sonografischer Untersuchungsgang

Bevor der Schallkopf auf das Auge platziert wurde, wurde eine ausreichende Menge Ultraschallgel auf die Schallkopfoberfläche gegeben. Es wurde darauf geachtet, dass stets so viel Ultraschallgel verwendet wurde, dass eine ausreichende Ankopplung des Schallkopfes gewährleistet und die Gefahr einer Kompression der vorderen Augenkammer und einer möglichen Schädigung der Kornea durch einen direkten Kontakt mit der Transduceroberfläche soweit wie möglich vermindert wurde, ohne dabei das Kopfgefieder durch einen übermäßigen Gebrauch von Ultraschallgel zu sehr zu verkleben. Die Untersuchung erfolgte in allen Fällen am wachen Patienten.

¹⁹ Fort Dodge Veterinär GmbH, Würselen (Deutschland)

Der sonografische Untersuchungsgang wurde an jedem Auge in vier verschiedenen Ebenen durchgeführt. Zunächst wurde das Auge mittels B-Mode auf das Vorhandensein pathologischer Zustände bzw. individueller Besonderheiten untersucht. Im Anschluss daran wurden Aufnahmen des Bulbus für eine spätere biometrische Vermessung angefertigt.

Es wurde stets zunächst das rechte Auge untersucht, wobei der Vogel zu diesem Zeitpunkt so fixiert wurde, dass dessen Blickrichtung vom Untersucher weg zeigte und dadurch die Untersuchung des rechten Auges mit der rechten Hand durchgeführt werden konnte, während die linke Hand für die Bedienung der Tastatur zur Verfügung stand. Für die Sonografie des linken Auges wurde der Vogel gedreht, sodass dieser zum Untersucher hin sah und somit wiederum die rechte Hand des Untersuchers den Schallkopf führen konnte.

Die beschriebene Fixationstechnik gestattete eine Untersuchung mit geringmöglichem Personenaufwand: Mit Ausnahme von adulten Uhus, bei denen aufgrund ihrer Größe und potentiellen Gefährlichkeit eine weitere Person zur Fixation erforderlich war, konnte eine einzelne Person die Untersuchung alleine durchführen.

3.3.2.2.1 B-Mode

Die Untersuchung des Auges begann im B-Mode. In diesem Untersuchungsverfahren erfolgte die Untersuchung auf pathologische Zustände sowie die Erhebung der Messparameter.

Geräteeinstellungen

Die Einstellungen des Ultraschallgerätes orientierten sich an den individuellen Besonderheiten des jeweiligen Vogels und wurden dabei mit Ausnahme der Intensität und der Frequenz bei jeder Untersuchung erneut eingestellt. Eine Intensität von 65 % führte dabei in der Regel zu einer sehr guten Darstellung.

Zunächst wurden die Eindringtiefe und der Zoom so gewählt, dass der Bulbus und die Orbita einschließlich der extraokularen Muskulatur vollständig dargestellt wurden und den ausgewählten Bildabschnitt nahezu vollständig ausfüllten.

Da mit dem Bulbus und der Orbita eine exponiert liegende Struktur untersucht werden sollte, wurde mit „resol“ die höchstmögliche Frequenz von ca. 17 MHz gewählt.

Der Fokus wurde so definiert, dass er sich jeweils auf Höhe derjenigen Struktur befand, auf die sich zu diesem Zeitpunkt das Interesse des Untersuchers richtete.

Die Einstellung der TGC erfolgte so, dass alle gewünschten Strukturen deutlich erkennbar waren, ohne dass es zum Auftreten von Wiederholungsartefakten kam oder sich die eigentlich filigranen Linsenkapseln zu dick darstellten. Eine gleichmäßige Darstellung von Vorder- und Hinterkapsel der Linse erforderte zudem zuweilen eine gezielte Verstärkung, da in manchen Fällen nur eine der beiden Strukturen deutlich abgebildet wurde.

Die Gesamtverstärkung (Gain) wurde zunächst so gewählt, dass sich Kornea und die beiden Linsenkapseln klar und deutlich gezeichnet und Glaskörper, Linsenstroma und vordere Augenkammer sich mit Ausnahme pathologischer Veränderungen anechogen darstellten. Im Anschluss wurde sie erhöht um zu prüfen ob subtile Veränderungen in Form von Trübungen, Blut, Fibrin oder Fremdmaterial in den intraokularen Binnenräumen vorhanden war, welche bei einer geringeren Verstärkung nicht dargestellt wurden. Es wurde zumeist eine mittlere bis geringe dynamische Breite gewählt, da die Darstellung okularer Strukturen in der Regel keine große Anzahl an Graustufen erfordert, die Darstellung subtiler Veränderungen dadurch jedoch erleichtert wird.

Schnittebenen

Die Untersuchung im B-Mode begann in der axialen vertikalen Schnittebene, in der auch Standbildaufnahmen für die biometrischen Messungen vorgenommen wurden. Die Markierung des Schallkopfes zeigte hierbei dorsal. Der Schallkopf wurde genau senkrecht auf das Auge platziert, sodass die Krümmungen von Kornea und Linse im Bild parallel zueinander lagen und deren jeweilige maximale axiale Ausdehnung sich auf derselben senkrechten Linie befand. Im Anschluss daran erfolgte die Untersuchung im horizontalen Schnitt nach demselben Prinzip. Hierfür wurde die Ultraschallsonde so platziert, dass die Markierung nasal zeigte. Aufgrund der stark frontal gerichteten Augen war es vor allem bei Eulenvögeln erforderlich, den Schallkopf nahezu parallel zum Schnabel zu halten. Abbildung 14 veranschaulicht die Positionierung des Transducers bei einem Mäusebussard in der axialen vertikalen (links) bzw. horizontalen Ebene (rechts).



Abbildung 14: Positionierung des Schallkopfes in den axialen Schnittebenen

In beiden Ebenen wurden sowohl Bilder des gesamten Bulbus festgehalten, als auch die weiter anterior gelegenen Strukturen Kornea, vordere Augenkammer, Linse sowie Iris und Ziliarkörper mithilfe einer Lupenfunktion vergrößert dargestellt. Letzteres sollte dazu dienen, diese Strukturen auf feine Veränderungen hin zu untersuchen und eine genauere Vermes-

sung zu erlauben. Die Untersuchung pathologischer Veränderungen orientierte sich anhand von deren Lokalisation sowie räumlicher Ausdehnung und erfolgte in allen Ebenen.

Für die Untersuchung des Augenfächers wurden die transversale sowie die longitudinale Schnittebene gewählt. In der ersten Ebene wurde der Pekten im Transversal – in der zweiten im Sagittalschnitt dargestellt. Im Zusammenhang mit der Untersuchung des Pekten wurde auch versucht, den sich an die Insertionsstelle des Augenfächers anschließenden Sehnerv darzustellen.

Hierfür wurde wie folgt vorgegangen: Aus der horizontalen Schnittebene heraus wurde der Schallkopf in die transversale oblique Schnittebene auf ca. 4:30 Uhr bewegt. Am linken Auge war hier die 7:30 Uhr-Position erforderlich. Der Pekten zeigte sich dabei als schmale, senkrecht in den Glaskörper ragende Struktur. Sobald der Augenfächer sich im 90°-Winkel darstellte, wurde dieser mit dem Schallkopf in dorsotemporaler und nasoventraler Richtung mit dem Schallkopf verfolgt und am Punkt seiner maximalen Ausdehnung als Standbild festgehalten.

Für die anschließend durchgeführte Darstellung des Augenfächers im Sagittalschnitt wurde der Schallkopf am rechten Auge in die longitudinale 4:30 Uhr-Schnittebene bewegt, am linken Auge jedoch auf ca. 7:30 Uhr. Diese Einstellung erlaubte die Abbildung des Pekten in seiner vollen Ausdehnung von nasoventral nach dorsotemporal.

Die Angabe der Uhrzeit variiert zwischen den einzelnen Vogelarten mehr oder weniger stark. Insgesamt kann festgehalten werden, dass für eine optimale Darstellung die Position bei tagaktiven Greifvögeln eher bei 4 (bzw. 8) Uhr, bei Eulenvögeln jedoch bei 5 (bzw. 7) Uhr zu suchen ist.

3.3.2.2 Biometrie

Um den Stress für die Tiere zu minimieren wurden die biometrischen Messungen nicht direkt während der sonografischen Untersuchung des Vogels sondern vielmehr im Anschluss daran durchgeführt. Dennoch sollen sie an dieser Stelle erläutert werden, da die Messungen anhand der mittels B-Mode erstellten Bilder erfolgte. Folgende Messparameter wurden hierfür ausgewählt:

- Durchmesser der Hornhaut
- Durchmesser der vorderen Augenkammer
- Durchmesser der Linse axial
- Durchmesser der Linse transversal
- Durchmesser des Glaskörpers axial

- Durchmesser der hinteren Augenwand
- Gesamtdurchmesser des Augapfels axial
- Höhe des Augenfächers

Die Messungen wurden mithilfe der im Ultraschallgerät integrierten Messfunktion vorgenommen und erfolgten – abgesehen vom Augenfächer, bei dem hierfür die transversale Ebene erforderlich war – an beiden Augen in der axialen vertikalen und horizontalen Ebene. Zusätzlich zur Vermessung derjenigen Bilder, die den Bulbus vollständig abbildeten, wurde von den anterior gelegenen Abschnitten Kornea, vordere Augenkammer und Linse ein vergrößertes Bild festgehalten und vermessen. Jeder Parameter wurde in drei unterschiedlichen Bildern gemessen. Abbildung 15 zeigt das Auge eines Mäusebussards mit den jeweiligen Messparametern.

Die Messung der Kornea erfolgte von der äußeren Oberfläche des Hornhautepithels bis zur inneren Oberfläche des Hornhautendothels. Der Durchmesser der vorderen Augenkammer wurde an der Stelle ihrer maximalen Ausdehnung senkrecht zu Kornea und vorderer Linsenkapsel durchgeführt und reichte von der inneren Oberfläche des Korneaendothels bis zur anterior gelegenen Oberfläche der vorderen Linsenkapsel. Im Anschluss daran wurde der axiale Linsendurchmesser an der Stelle der größten Ausdehnung erfasst, welcher von der äußeren Oberfläche der vorderen Linsenkapsel bis zur posterior gelegenen Oberfläche der hinteren Linsenkapsel reichte. Der transversale Durchmesser der Linse entsprach der jeweils maximalen lateralen Ausdehnung des Pulvinus annularis lentis, welche zu beiden Seiten anhand des sich mäßig echogen darstellenden Ziliarkörper definiert wurde. Der axiale Durchmesser des Glaskörpers wurde gemessen vom Polus posterior lentis bis zur inneren Oberfläche der sich echogen darstellenden hinteren Augenwand. Die Punkte, die den axialen Durchmesser des gesamten Bulbus begrenzten, waren der anterior gelegene Messpunkt der Kornea sowie die posterior gelegene Oberfläche der Sklera, die durch den Tenonschen Raum zumeist deutlich zu sehen war. Die maximale Höhe des Augenfächers wurde ebenfalls in drei verschiedenen Bildern bestimmt, die den Pecten oculi im Transversalschnitt zeigten (vgl. Abbildung 16). Die Messpunkte waren dabei zum einen die in den Glaskörper ragende Spitze und zum anderen die Insertionsstelle an der Retina. Tabelle 5 stellt die einzelnen Messparameter und deren Begrenzungspunkte noch einmal zusammengefasst dar.

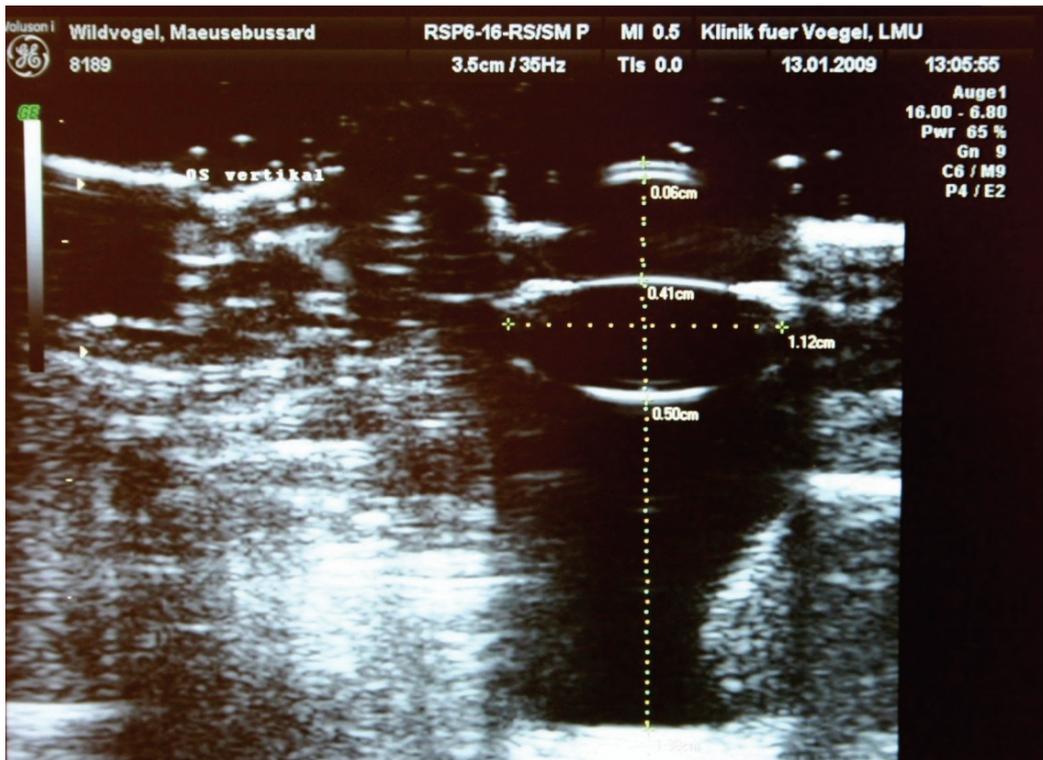


Abbildung 15: Platzierung der okularen Messpunkte²⁰

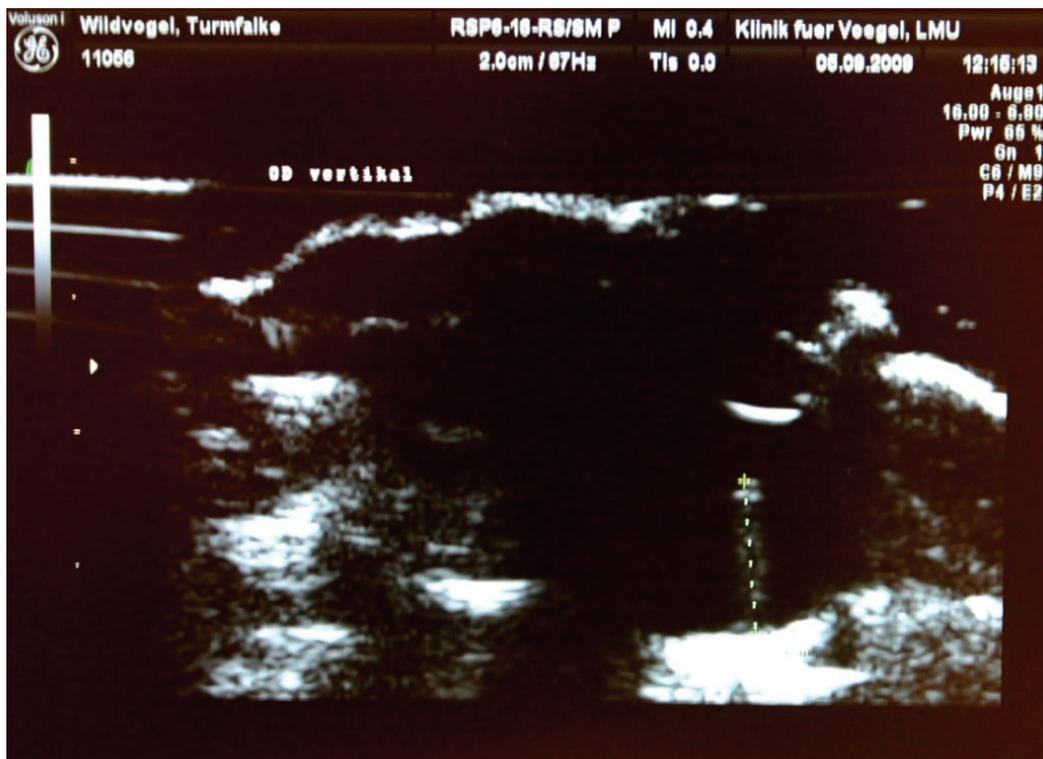


Abbildung 16: Messpunkte am Pecten oculi²¹

²⁰ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OS axial vertikal

²¹ Turmfalke (*Falco tinnunculus*, L. 1758), OD transversal

Messparameter	Ursprung der Messung	Ansatz der Messung
Kornea	Vorderes Korneaepithel	Hinteres Korneaendothel
Vordere Augenkammer	Hinteres Korneaendothel	Vordere Linsenkapsel
Linse axial	Vordere Linsenkapsel	Hintere Linsenkapsel
Linse transversal	Pulvinus annularis lentis	Pulvinus annularis lentis
Glaskörper axial	Hintere Linsenkapsel	Retina
Hintere Augenwand	Retina	Äußere Sklera
Bulbus axial	Vorderes Korneaepithel	Äußere Sklera
Pekten axial	Pektenbasis	Pektenbrücke

Tabelle 5: Okulare Messparameter und deren Begrenzungspunkte

Im Laufe des Frühlings 2009 wurden fünf juvenile Turmfalken unterschiedlichen Alters in der Klinik vorgestellt, sonografisch untersucht und die Augen vermessen. Dasselbe wurde bei drei juvenilen Schleiereulen durchgeführt, wobei diese zweimal im Abstand von sechs Wochen untersucht wurden. Das Alter der Tiere wurde anhand ihres Entwicklungszustandes geschätzt und die Messwerte und das Alter miteinander in Verbindung gesetzt, um dadurch eine Vorstellung von der Entwicklung des Auges bei Turmfalken und Schleiereulen zu erhalten.

3.3.2.3 Nachbereitung des Probanden

Im Anschluss an die sonografische Untersuchung wurde das periorbitale Gefieder mittels eines weichen Handtuchs soweit wie möglich vom Gel befreit und getrocknet. Zudem wurde das Auge mit handwarmer, steriler physiologischer Kochsalzlösung gespült. Bei jedem Tier wurde eine Vitamin A-haltige Salbe (Regepithel®) in beide Augen appliziert und der Vogel in eine ruhige, abgedunkelte Box verbracht.

3.3.3 Die postklinische Dokumentation

In Fällen, in denen aufgrund infauster Prognose bezüglich Wiederherstellung der Wildbahaugtauglichkeit eine Euthanasie erforderlich war, wurden die Augen für eine postmortale Untersuchung asserviert. Die Euthanasie der Vögel erfolgte unter Inhalationsanästhesie mit Isofluran (5 %) ²². Zur Tötung der Tiere wurde T61 ²³ in einer Dosierung von 1 - 2 ml/kg intravenös oder intrakardial appliziert. Die Augen wurden unmittelbar nach Feststellung des Todes mittels transpalpebraler Technik entnommen. Hierfür wurden eine Gewebeschere sowie eine feine chirurgische Pinzette verwendet.

²² Fa. Essex Pharma GmbH, München (Deutschland)

²³ Fa. Intervet Deutschland GmbH, Unterschleißheim (Deutschland)

3.3.3.1 Präparation der Bulbi

Die zu untersuchenden Augen wurden analog des Protokolls von KORBEL (1994) fixiert und bis zur weiteren Verarbeitung aufbewahrt. Da die Augen zeitgleich für eine andere Studie verwendet wurden, erfolgte jedoch keine Auffüllung der vorderen Augenkammer mit Formalin, da die zweite Studie ansonsten nicht hätte durchgeführt werden können.

Zur fotografischen Dokumentation wurden sie aus dem Formalin entnommen und vor ihrer Eröffnung mit destilliertem Wasser abgespült. Die Kallottierung der fixierten Bulbi wurde mit Mikrotom-Einmalklingen durchgeführt, wobei das rechte und das linke Auge jeweils in unterschiedlichen Ebenen eröffnet wurde (vgl. Abbildung 17).

Dadurch wurde der Pekten des rechten Auges im nasoventralen Drittel quer geschnitten. Im linken Auge blieb er unverletzt und war nur in der ventrotemporalen Bulbushälfte zu finden.

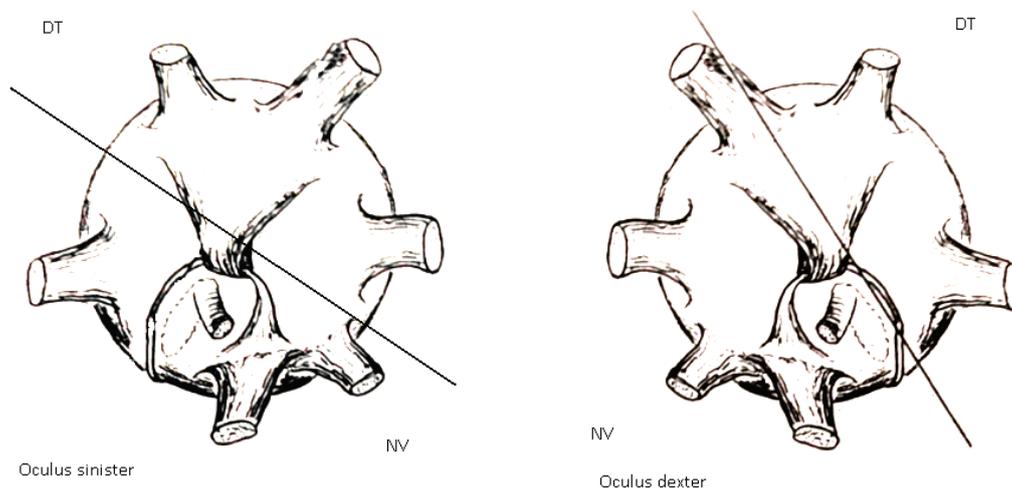


Abbildung 17: Schnittführung bei der Kalottierung der Bulbi

3.3.3.2 Fotografische Dokumentation

Die Kamera wurde für die fotografische Dokumentation auf einem Stativ fixiert und die zu untersuchende Augenhälfte auf einer eigens hierfür entwickelten Freistellungseinrichtung unter das Objektiv platziert. Die Blitze wurden so ausgerichtet, dass das Innere des kallotierten Bulbus vollständig von oben und der Seite ausgeleuchtet wurde.

Die Bulbushälfte wurde so positioniert, dass sich die nach oben zeigende Schnittfläche exakt horizontal zum Boden befand und schließlich mit physiologischer Kochsalzlösung aufgefüllt, bis die Oberfläche der Flüssigkeit sich leicht über die Schnittfläche hervorwölbte.

Die Aufnahmen wurden zum größten Teil bei Blende 40 und einer Belichtungszeit von 1/250 bis 1/320 Sekunde angefertigt. Bei einigen wenigen Präparaten war eine größere Blendenöffnung erforderlich, um auch feine Veränderungen ausreichend gut darstellen zu können.

Dabei wurde der Fokus so gewählt, dass bei jeder Augenhälfte die Kornea, die Linse, der Ziliarkörper und der Pecten fokussiert wurden. Bei pathologischen Veränderungen wurden diese zusätzlich fokussiert.

Um einen Anhaltspunkt für die Dimensionen zu erhalten, wurde während der Aufnahmen zusätzlich ein Lineal mit 0,5 mm-Skala auf Höhe des Bulbusrandes platziert. Allerdings wurden keine postmortalen Vermessungen vorgenommen, da es durch die Fixierung zu erheblichen Veränderungen des Volumens und damit potentiell auch zur Fehleinschätzung intraokularer Distanzen kommen kann (RAVELHOFER 1996), WERTHER 2011).

3.3.4 Die statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte in Zusammenarbeit mit dem statistischen Beratungslabor des Instituts für Statistik der Ludwig-Maximilians-Universität München (Stablab).

Zur Bestimmung der Werte für die intraokularen Distanzen sowie zur Einschätzung von deren Schwankungsbreite und Aussagekraft wurden folgende Werte bestimmt:

- Mittelwert
- Standardabweichung
- Konfidenzintervall
- T-Test zum Vergleich der Werte rechter und linker Augen, der Untersuchungsebenen, der Geschlechtszugehörigkeit sowie gesunder und erkrankter Augen.

Insgesamt flossen die Werte von 145 Augen in die statistische Untersuchung zur Erhebung der intraokularen Distanzen ein.

4 Ergebnisse

4.1 Durchführung

Bei der Durchführung der Untersuchungen wurde auf verschiedene Punkte geachtet. Zum einen wurde die Dauer der Untersuchung festgehalten, wobei hier nicht zuletzt auch die beeinflussenden Faktoren ermittelt wurden. Zum anderen wurde untersucht, wie gut die Untersuchung von den Vögeln toleriert wurde und ob die Durchführung von okularer Sonografie nachteilige Auswirkungen auf das Tier hat.

4.1.1 Dauer der Untersuchung

Die Dauer der Untersuchung variierte zum Teil deutlich und war stark abhängig von den durchgeführten Untersuchungen, dem Vorhandensein pathologischer Veränderungen und auch der untersuchten Spezies. Die Durchschnittswerte der jeweiligen Vogelart und Untersuchungsebene²⁴ sind in Tabelle 6 dargestellt.

Vogelart	ODV	ODH	OSV	OSH
Mäusebussard	00:03:07	00:01:58	00:02:44	00:01:42
Turmfalke	00:03:28	00:02:24	00:02:14	00:02:10
Sperber	00:03:24	00:02:15	00:02:22	00:02:29
Habicht	00:03:59	00:03:38	00:03:51	00:03:40
Schleiereule	00:02:17	00:01:43	00:02:41	00:01:26
Waldohreule	00:03:39	00:02:41	00:01:36	00:01:45
Waldkauz	00:02:49	00:02:13	00:01:31	00:01:25
Steinkauz	00:01:21	00:01:19	00:01:41	00:01:11
Uhu	00:04:13	00:01:37	00:03:47	00:01:55
Durchschnitt	00:03:08	00:02:12	00:02:30	00:01:58

Tabelle 6: Untersuchungsdauer im B-Mode

Die Untersuchungszeiten im B-Mode betragen pro Ebene durchschnittlich ca. 2,5 Minuten und dauerten tierartlich unterschiedlich zwischen ca. 1 und 4 Minuten. Dabei wurde für die Untersuchung in der axialen vertikalen Schnittebene des rechten Auges zwischen 30 (Habicht, Schleiereule und Waldkauz) und 60 (Mäusebussard, Turmfalke, Sperber, Waldohreule)

²⁴ ODV: Oculus dexter axial vertikal, ODH: Oculus dexter axial horizontal, OSV: Oculus sinister axial vertikal, OSH: Oculus sinister axial horizontal

le) Sekunden länger benötigt als für die axiale horizontale Schnittebene. Für das linke Auge lagen die Abweichungen dann zwischen 4 und 62 Sekunden, wobei es bei Sperbern und Waldohreulen die Untersuchung der horizontalen Schnittebene war, die unwesentlich länger dauerte. Lediglich beim Uhu wurde für die vertikale Schnittebene auf beiden Augen mit ca. 2 bzw. 2,5 Minuten wesentlich mehr Zeit benötigt.

4.1.2 Einflussfaktoren auf die Untersuchungsdauer

Die Untersuchungsdauer wurde abgesehen vom Umfang der durchgeführten Untersuchungen durch weitere Faktoren beeinflusst. Diese sind wie folgt:

- Kooperation von Seiten des Vogels
- Vogelart mit den jeweiligen anatomischen Gegebenheiten
- Alter des Tieres

4.1.2.1 Kooperation

Da die Untersuchung in fast allen Fällen – eine Ausnahme stellte die Sonografie adulter Uhus dar – von einer einzelnen Person durchgeführt wurde, war die Kooperation von Seiten des Vogels ein bedeutender Faktor, da starke Abwehr- aber auch leichte Drehbewegungen des Kopfes dazu führten, dass der gewünschte Bildausschnitt erneut aufgesucht werden musste.

An dieser Stelle muss weiterhin erwähnt werden, dass aufgrund der Schallkopfform keine Einflussnahme auf das Öffnen und Schließen der Lider möglich war und die Untersuchung bei dauerhaft geschlossenen Lidern zu einer weniger schönen Darstellung führte, auch wenn dieser Punkt weniger von der Kooperation des Tieres abhängt sondern vielmehr einen physiologischen Vorgang darstellt.

4.1.2.2 Vogelart

Die Vogelart besaß ebenfalls eine große Bedeutung für die Dauer der Untersuchung, da verschiedene anatomische Besonderheiten wie der bei manchen Arten stark ausgeprägte Processus supraorbitalis die korrekte Positionierung des Schallkopfes erschwerte. Weiterhin erwies sich eine dichte Befiederung im Kopfbereich als störend. Im Folgenden sollen kurz die festgehaltenen Beobachtungen bei tag- und nachtaktiven Greifvögeln erläutert werden.

4.1.2.2.1 Tagaktive Greifvögel

Der Bulbus liegt bei tagaktiven Greifvögeln relativ exponiert, was die Positionierung des Schallkopfes erleichtert. Zudem existieren keine lange Federn in der unmittelbaren Augen-umgebung, die eine Ankoppelung des Schallkopfes erschweren könnten.

Der beim Mäusebussard sehr stark sowie bei Habicht und Sperber mäßig ausgeprägte Processus supraorbitalis kann sich störend auf die Positionierung des Transducers auswirken, was jedoch mithilfe einer ausreichenden Menge an Ultraschallgel kompensiert werden kann. Beim Turmfalke besaß er aufgrund seiner geringgradigen Ausprägung keinen Einfluss auf die sonografische Darstellung.

Darüber hinaus kann bei allen tagaktiven Greifvögeln der in das Unterlid eingelagerte Tarsus palpebralis als ein weiterer störender Faktor wirken: Sobald der Vogel das Auge schließt, kommt es in Abhängigkeit der Dicke des Knorpels zu einer erheblich schlechteren Darstellung der intraokularen Strukturen.

4.1.2.2 Eulenvögel

Eulenvögel zeigten größere anatomische und physiologische Unterschiede zwischen den einzelnen Arten als tagaktive Greifvögel, sodass an dieser Stelle eine differenzierte Erläuterung folgt.

Bei Schleiereulen war die sonografische Untersuchung des Auges relativ einfach durchzuführen, da die arttypische Anordnung der periorbitalen Federn ein leichtes Zurückstreichen der Federn erlaubte und somit verhinderte, dass diese die Ankopplung des Schallkopfes behindern.

Im Gegensatz dazu war die Untersuchung bei Waldkäuzen und Waldohreulen trotz der theoretisch relativ exponiert liegenden Augen dadurch erschwert, dass sich das dichte Gefieder fast immer zwischen Kornea und Schallkopfoberfläche schob. Zudem konnten die von dichtem Gefieder verdeckten Lider geschlossen gehalten werden, ohne dass dies durch die untersuchende Person zu beeinflussen war. Dadurch wurde die Ankopplung oft relativ stark behindert. Allerdings wurde mit einer zunehmenden Untersuchungsdauer eine deutliche bessere Darstellung beobachtet, da die Federn durchnässten und dadurch dauerhaft zur Seite geschoben werden konnten.

Steinkäuze besitzen kaum dichtes Kopfgefieder und auch die knöchernen und knorpeligen Strukturen der Augenumgebung behinderten die sonografische Untersuchung nicht, sodass diese trotz eines deutlich ausgeprägten Processus supraorbitalis leicht und schnell durchgeführt werden konnte.

Die Augen von Uhus liegen relativ exponiert und werden aufgrund ihrer Größe kaum durch das periorbitale Gefieder verdeckt. Dies erlaubte eine relativ leichte Ankopplung des Schallkopfes. Allerdings erschwerten eventuell geschlossene Lider die Untersuchung deutlich stärker als dies bei kleineren Vogelarten der Fall war. Zudem gilt es die potentielle Gefährlichkeit, Größe und Kraft eines adulten Uhus nicht zu unterschätzen.

4.1.2.3 Alter des Tieres

Das Alter des Tieres spielt insofern eine Rolle, als junge Tiere nur einer sehr kurzen Untersuchung unterzogen wurden. Bei diesen wurden pro Auge sechs Bilder gemacht und die Untersuchung danach unverzüglich beendet.

Bei adulten Tieren hatte das genaue Alter keinen Einfluss auf die Untersuchungsdauer.

4.1.3 Toleranz und Verträglichkeit der Untersuchung

Eine Einschätzung der Verträglichkeit basierte auf der Beurteilung des Verhaltens der untersuchten Tiere während und nach Durchführung der Sonografie sowie einer kurzen klinischen Untersuchung. Parameter wie Herz- und Atemfrequenz, Blutdruck oder Cortisol wurden nicht bestimmt.

Zu Beginn der Untersuchung zeigten sich die Tiere zwar häufig nervös und reagierten mit Abwehrbewegungen auf die Annäherung des Schallkopfes, doch sobald sich dieser auf dem Auge befand, beruhigten sie sich sehr schnell wieder und verhielten sich ruhig, solange der Schallkopf auf dem Auge platziert war. Lediglich das erneute Aufsetzen des Schallkopfes bei Wechsel der Untersuchungsebene oder für das Auftragen von Gel auf den Transducer führten zu leichten Beunruhigungen des Tieres, was sich in Abwehrbewegungen des Kopfes oder – dies vor allem bei Turmfalken – in Form von drohenden Lautäußerungen bemerkbar machte. Aufgrund der Beurteilung ihres Verhaltens und einer kurzen klinischen Untersuchung wurde angenommen, dass die Untersuchungen von 97,2 % der Vögel (n=135) sehr gut toleriert wurden.

Zeigte der Vogel Zeichen von starkem Stress, wie heftige Abwehrbewegungen einerseits aber auch Anzeichen von Schwäche andererseits, wurde die Untersuchung sofort abgebrochen und der Vogel unverzüglich in eine abgedunkelte Box verbracht. Dies trat insgesamt jedoch nur bei 2,8 % der Tiere auf (n=4), wobei es sich um drei Turmfalken und einen Mäusebussard handelte. Diese Tiere hatten sich jedoch alle nach fünf bis zehn Minuten beruhigt und saßen wieder auf ihrer Stange.

Turmfalken und Sperber zeigten von allen untersuchten Vogelarten die stärkste Aufregung, während Eulenvögel die Untersuchung mit der größten Ruhe tolerierten. Bei letzteren muss hier allerdings auch die Möglichkeit einer Schreckstarre in Erwägung gezogen werden, was bedeuten würde, dass die Untersuchung für die Tiere doch mit weitaus größerem Stress verbunden ist, als das Verhalten der Tiere vermuten lässt. Bei Mäusebussarden und Habichten war die Toleranz individuell sehr unterschiedlich und reichte von sehr ruhigen Tieren bis hin zu einem Tier, bei dem die Untersuchung aufgrund der extremen Aufregung nach zwei Minuten abgebrochen werden musste. Zudem konnte festgestellt werden, dass kranke und geschwächte Tiere die Untersuchung weniger gut tolerierten als gesunde. Sie zeigten zwar

relativ geringe Abwehrbewegungen, benötigten allerdings eine deutlich längere Phase zur Erholung als ihre gesunden Artgenossen.

Ein negativer Effekt, der im Rahmen der Ultraschalluntersuchung auftrat, war das Verkleben des periobitalen Gefieders mit Ultraschallgel, welches durch den relativ großen Schallkopf zusätzlich verteilt wurde. Auch das sorgfältige Reinigen mittels eines Handtuchs konnte nicht alle Gelreste aus den Federn entfernen, sodass die Vögel während der nächsten zwei Tage ein leicht verklebtes Kopfgefieder aufwiesen. Allerdings wurde das Gel im Rahmen des normalen Putzverhaltens wieder entfernt. Eine Ausnahme stellten hier zwei sehr alte Waldkäuze dar, bei denen aufgrund mangelnden Pflegeverhaltens auch nach einigen Tagen noch Reste des Gels in den Federn gefunden wurden. Es wurde dennoch darauf verzichtet, die Federn mittels warmen Wassers zu reinigen, da der Stress hierfür in keinem Verhältnis zum Ergebnis gestanden hätte.

4.2 Die B-Mode-Untersuchung

In diesem Kapitel sollen die Auswertungen der B-Mode-Sonografie dargestellt werden. Hierzu gehören die Darstellung und Darstellbarkeit physiologischer sowie pathologischer Strukturen. Zum Schluss werden die intraokularen Distanzen der verschiedenen Vogelarten beschrieben.

4.2.1 Darstellung und Darstellbarkeit physiologischer Strukturen

Auch wenn die grundsätzliche Darstellung der einzelnen okularen Strukturen prinzipiell bei allen Vogelarten gleich oder zumindest sehr ähnlich ist, konnten einige artspezifische Besonderheiten festgestellt werden, auf die bei den jeweiligen Strukturen eingegangen werden soll. Abbildung 18 zeigt beispielhaft die sonografische Darstellung bei einem tagaktiven Greifvogel (Turmfalke), Abbildung 19 diejenigen einer Eule (Waldohreule). In Abbildung 20 und Abbildung 21 werden die Unterschiede im Bereich des vorderen Augensegments bei tag- bzw. nachtaktiven Greifvögeln verdeutlicht.

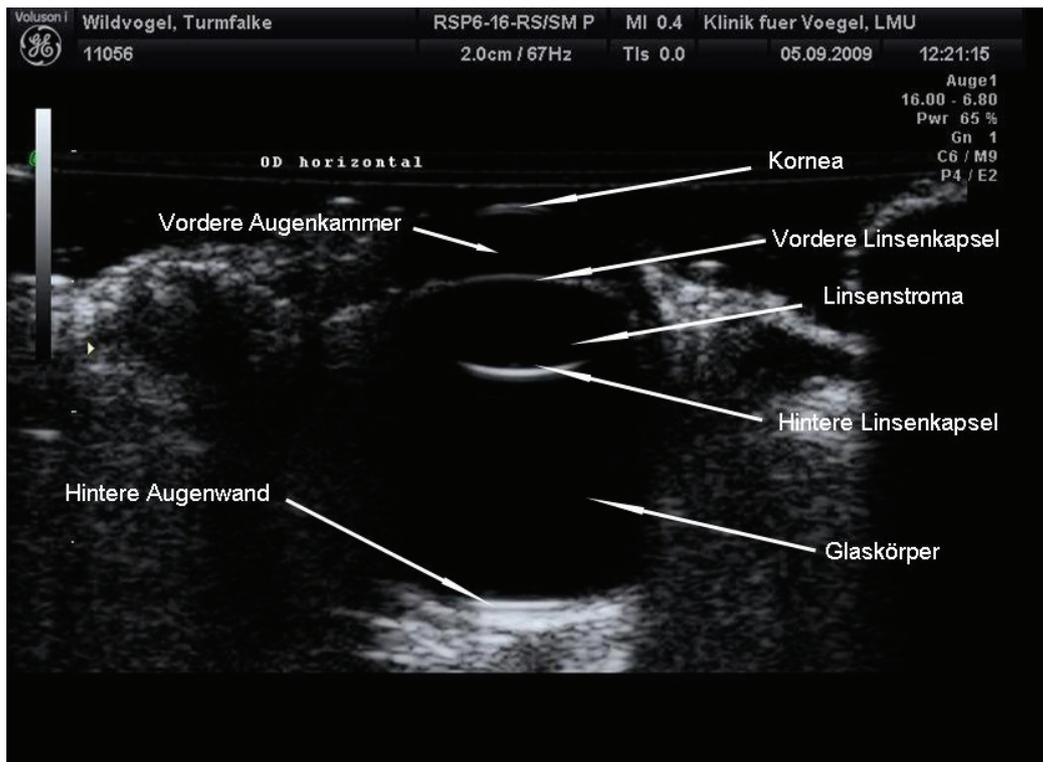


Abbildung 18: Physiologische sonografische Darstellung bei einem tagaktiven Greifvogel²⁵

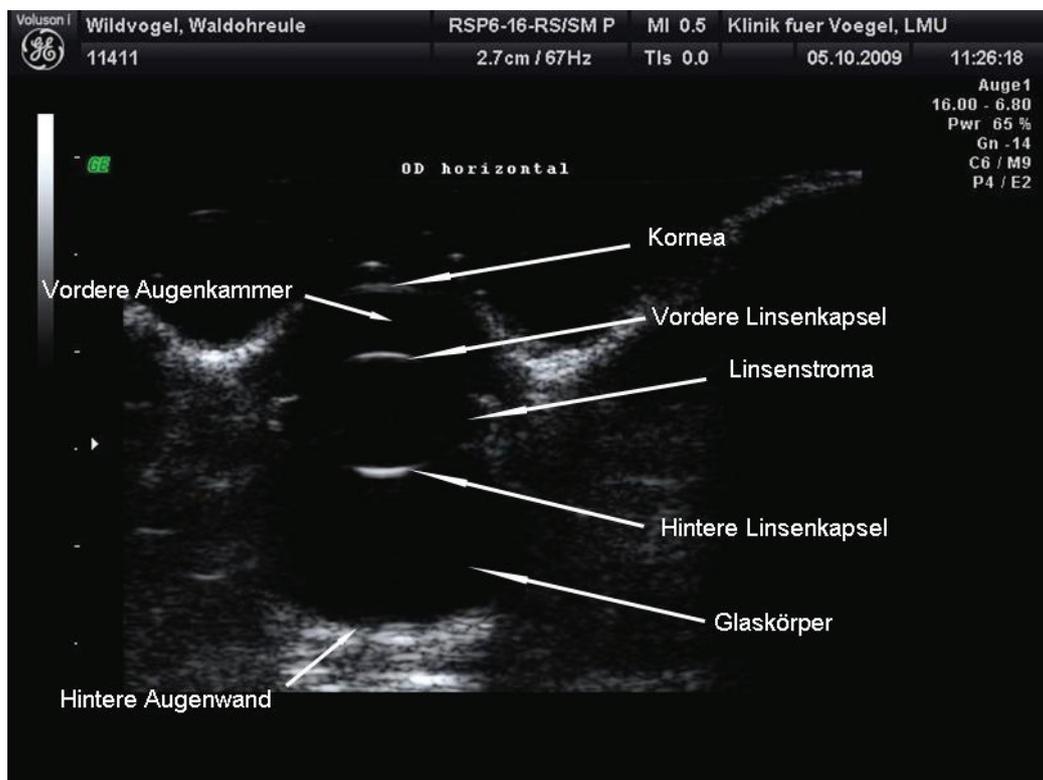


Abbildung 19: Physiologische sonografische Darstellung bei einer Eule²⁶

²⁵ Turmfalke (*Falco tinnunculus*, L. 1758), OD axial horizontal

²⁶ Waldohreule (*Asio otus*, L. 1758), OD axial horizontal

4.2.1.1 Kornea

Die Kornea stellte sich im Idealfall als zwei konvex gebogene Linien hyperechogener Intensität mit dem zwischen den beiden Linien befindlichen anechogenen Stroma dar. Der strukturelle Aufbau konnte nicht in allen Fällen eindeutig dargestellt werden. Vor allem bei Turmfalcken konnte das Stroma zuweilen nicht von Epi- und Endothel abgegrenzt werden und stellte sich ähnlich echogen wie diese dar. Auch die peripheren Anteile der Kornea konnten – bedingt durch die Brechung der Schallwellen an der gewölbten Oberfläche – teilweise nicht dargestellt werden, wenn der Schallkopf in der axialen Schnittebene aufgesetzt worden war.

Bewegungen der Lider führten zur Verformung der Kornea, welche mittels Ultraschall sehr gut dargestellt werden konnte.

4.2.1.2 Vordere und hintere Augenkammer

Die vordere Augenkammer stellte sich im physiologischen Zustand völlig anechogen dar, während die hintere Augenkammer sich sonografisch nicht darstellen ließ. Für die Darstellung des Kammerwinkels war vor allem bei tagaktiven Greifvögeln die transversale bzw. die longitudinale Schnittebene erforderlich, während dieser sich bei den Eulenvögeln in der Regel auch in der vertikalen und der horizontalen Schnittebene deutlich darstellte. Lediglich bei Waldkäuzen und Uhus trat zu Beginn der Untersuchung häufig das Problem auf, dass beide Kammerwinkel – einschließlich des Ziliarkörpers – nicht abgebildet werden konnten. Im weiteren Verlauf der Untersuchung besserte sich dies zumeist soweit, dass zumindest eine unilaterale Darstellung des Kammerwinkels in der axial vertikalen bzw. horizontalen Ebene möglich war.

4.2.1.3 Iris und Ziliarkörper

Die Iris zeigte sich als schmale, längliche Struktur mittlerer bis starker Echogenität dar, welche sich von der Peripherie der Linse aus über die vordere Linsenkapsel bewegte.

Der Ziliarkörper, ebenfalls eine Struktur mittlerer bis starker Echogenität mit leicht körniger Textur, konnte aufgrund des Skleralringes nicht bei allen Vogelarten in der vertikalen bzw. horizontalen Ebene dargestellt werden. Vor allem bei den Taggreifvögeln war hierfür die transversale bzw. longitudinale Ebene erforderlich, während er sich bei den Eulenvögeln in der Regel ohne große Probleme darstellen ließ (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 21). Eine Ausnahme bildeten hier wie bereits erwähnt Waldkäuze und Uhus.

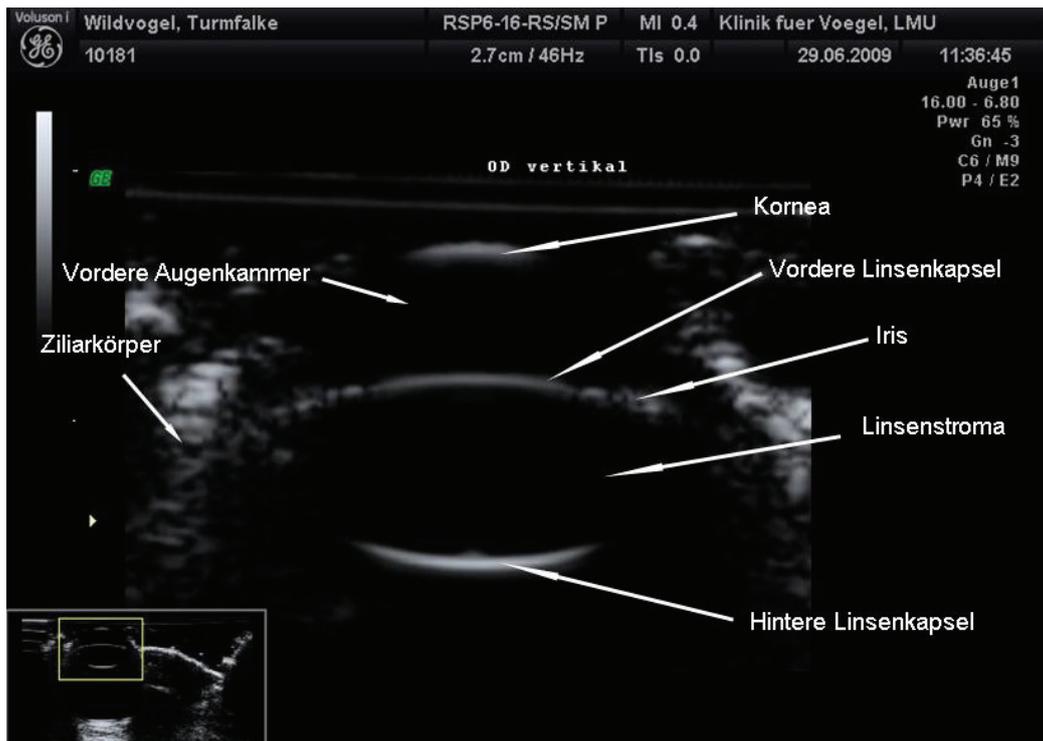


Abbildung 20: Physiologischer Bulbus anterior bei tagaktiven Greifvögeln²⁷

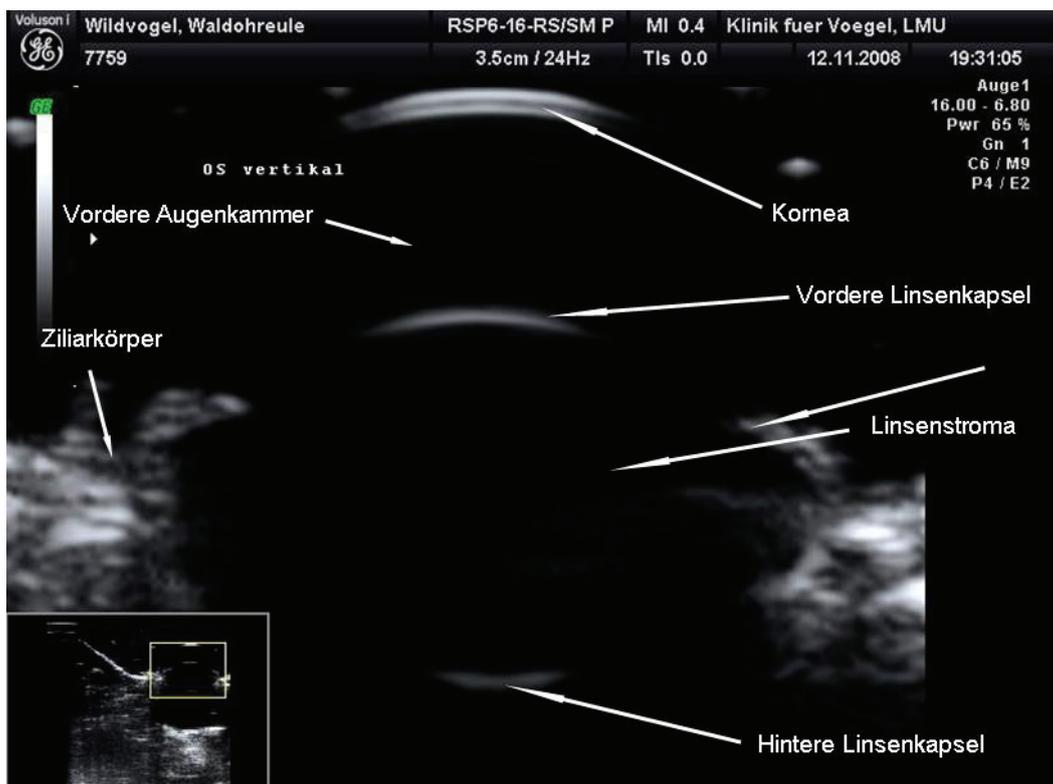


Abbildung 21: Physiologischer Bulbus anterior bei Eulenvögeln²⁸

²⁷ Turmfalke (*Falco tinnunculus*, L. 1758), OD axial vertikal

²⁸ Waldohreule (*Asio otus*, L. 1758), OS axial vertikal

4.2.1.4 Linse

Die Linse besaß drei mittels Ultraschall darstellbare Anteile: Die jeweils hyperechogene vordere sowie hintere Linsenkapsel und das anechogene Linsenstroma. Beide Anteile der Linsenkapsel waren artspezifisch stark konvex gebogen. Die hintere Linsenkapsel, welche weniger stark gekrümmt ist als die vordere, stellte sich häufig stärker echogen und dicker dar als die vordere Linsenkapsel.

Der Ringwulst (Anulus pulvinus) stellte sich im Ultraschall anechogen dar und hob sich damit vom mäßig echogenen bis echogenen Ziliarkörper ab. Seine anterior und posterior gerichteten Grenzflächen waren in den axialen Schnittebenen nicht darstellbar, da das Echo in der Peripherie gebrochen wird und nicht zur Sonde zurückkehrt.

Bei 65,7 % der Augen der Mäusebussarde (n=46), 69,7 % der Augen der Turmfalken (n=53) und bei 100 % der Habichtaugen (n=4) trat regelmäßig eine punktförmige echogene Struktur unmittelbar anterior der hinteren Linsenkapsel auf (vgl. Abbildung 22). Diese war sowohl in der axialen horizontalen Schnittebene als auch in der axialen vertikalen Schnittebene zu sehen. Bei Sperbern wurde sie lediglich in 4,2 % der Augen beobachtet (n=1). Jedoch zeigte sie sich bei 6,3% der Augen der Schleiereulen (n=2), 13,6% der Augen von Waldohreulen (n=3) und bei 50% der Uhu-Augen (n=5).

Bei drei Eulenarten wiederum zeigte sich in Abhängigkeit von der Verstärkung eine dünne horizontal verlaufende echogene Linie am Übergang vom mittleren zum posterior gelegenen Drittel, ohne dass in der ophthalmologischen Untersuchung Veränderungen festgestellt werden konnten (vgl. Abbildung 23). Diese Linie trat bei Steinkäuzen in 75 % der Augen (n=12), bei Waldkäuzen in 41,7 % der Augen (n=15) und bei Waldohreulen in 31,8 % der Augen (n=7) auf.

Bei Waldohreulen konnte in 36,4 % der Augen (n=8) gleichzeitig eine linienförmige stark echogene Struktur proximal der hinteren Linsenkapsel beobachtet werden. Dasselbe gilt für 6,3% der Augen von Schleiereulen (n=2). Schleiereulen zeigten darüber hinaus in der sonografischen Untersuchung in 37,5% der Augen (n=12), Waldohreulen in 13,6% der Augen (n=3), Waldkäuze in 36,1% der Augen (n=13) und Steinkäuze in 31,25% der Augen (n=5) eine zentral im Stroma der Linse lokalisierte echogene punktförmige Struktur (vgl. Abbildung 24).

Eine Übersicht über die in der Linse dokumentierten physiologischen bzw. artifiziellen Befunde findet sich gemeinsam mit den Befunden des Glaskörpers in **Tabelle 7**.



Abbildung 22: Häufiger physiologischer Befund in der Linse von Taggreifvögeln²⁹



Abbildung 23: Häufiger physiologischer Befund in der Linse verschiedener Eulenvögel³⁰

²⁹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD axial horizontal

³⁰ Steinkauz (*Athene noctua*, L. 1758), OD axial vertikal

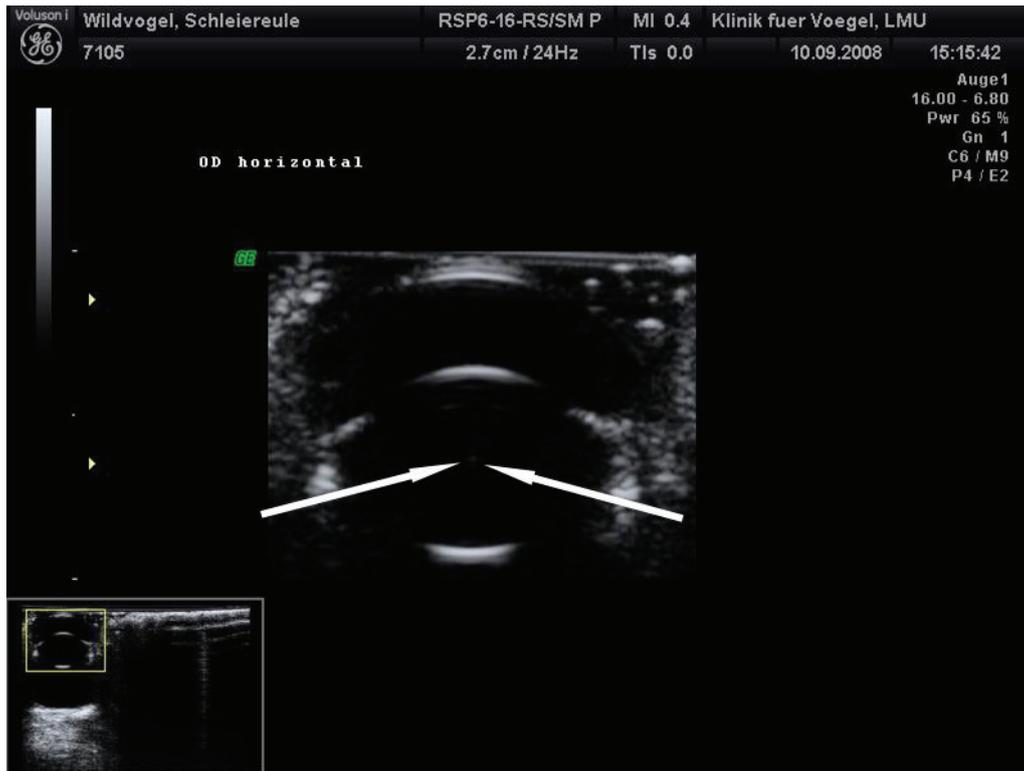


Abbildung 24: Häufiger physiologischer Befunde in der Linse von Schleiereulen³¹

³¹ Schleiereule (Tyto alba, L. 1758), OD axial horizontal

4.2.1.5 Glaskörper

Der Glaskörper stellte sich physiologisch anechogen dar, seine seitliche Begrenzung durch die Augenhüllen war aufgrund eines durch den Skleralring verursachten Schallschatten in der vertikalen sowie horizontalen Ebene sonografisch nicht darstellbar (vgl. Abbildung 26).

Bei 62,9 % der Augen von Mäusebussarden (n=44), 50% der Habichtaugen (n=2), 46,1 % der Augen von Turmfalken (n=35) sowie bei 41,7 % der Sperberaugen (n=10) zeigte sich eine von der hinteren Augenwand in den Glaskörper ragende wellenartige echogene Struktur, die an eine partielle Netzhautablösung erinnert (vgl. Abbildung 27). Im Rahmen einer daraufhin durchgeführten erneuten eingehenden Augenuntersuchung konnte die Verdachtsdiagnose Ablatio retinae ausgeschlossen werden. Bei den nachtaktiven Eulenvögeln fanden sich diese in 22,7% der Augen von Waldohreulen (n=5), 10% der Uhu-Augen (n=1), 8,3% der Augen von Waldkäuzen (n=3) sowie 3,1% der Augen von Schleiereulen (n= 1) insgesamt deutlich seltener.

Weiterhin fanden sich bei Mäusebussarden in 45,7 % der Augen (n=32), bei 20,8% der Sperberaugen (n=5), bei 25% der Habichtaugen (n=1) sowie bei Turmfalken in 6,6 % der Augen (n=5) linienförmige echogene Strukturen im Glaskörper, die sowohl vom Pecten ausgehend zur hinteren Linsenkapsel zogen als auch horizontal durch den Glaskörper verliefen (vgl. Abbildung 28). Am häufigsten fanden sich diese als konvex gebogene Linie unmittelbar posterior der hinteren Linsenkapsel (vgl. Abbildung 29). Bei Eulen waren diese Strukturen nur in Ausnahmefällen zu sehen, so bei 4,5% der Augen von Waldohreulen (n= 1) und 2,8% der Waldkauzaugen (n=1). Juvenile Tiere zeigten diese Linien in keinem Fall.

Tabelle 7 und **Abbildung 25** veranschaulichen die Verteilung der dokumentierten physiologischen bzw. artifiziellen Befunde bei den einzelnen Vogelarten.

Vogelart	PL	PLZ	LAK	LLZ	GM	GF
Mäusebussard (n=70)	65,7				62,9	45,7
Sperber (n=24)	4,2				41,7	20,8
Habicht (n=4)	75				50	25
Turmfalke (n=76)	69,7				46,1	6,6
Schleiereule (n=32)	6,3	12,5	6,3	9,4	3,1	
Waldohreule (n=22)	13,6	13,6	36,4	31,8	22,7	4,5
Waldkauz (n=36)		36,1		41,7	8,3	2,8
Steinkauz (n=16)		31,25		75		
Uhu (n=10)	50				10	

Tabelle 7: Verteilung physiologischer Befunde in Glaskörper und Linse ³²

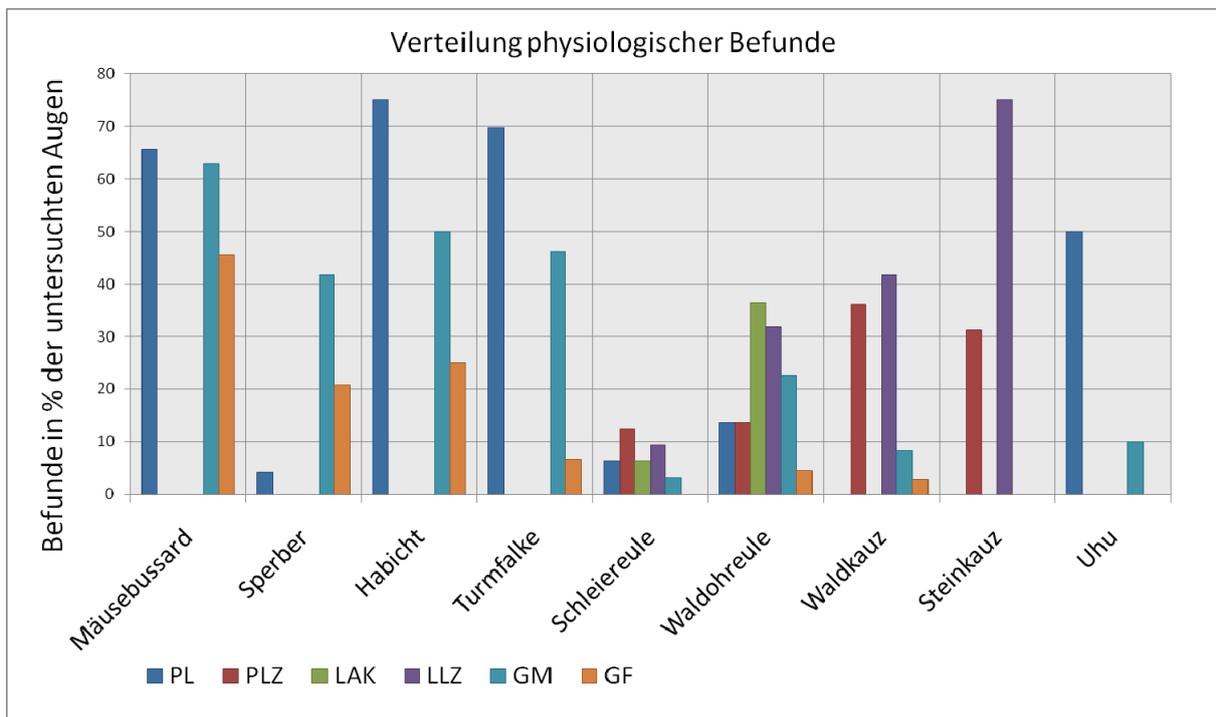


Abbildung 25: Verteilung physiologischer Befunde in Glaskörper und Linse ³²

³² PL: Punktförmiges Echo anterior der hinteren LinsenkapSEL, PLZ: Punktförmiges Echo zentral in Linse, LAK: Lineares Echo anterior der hinteren LinsenkapSEL, LLZ: Lineares Echo zentral in Linse, GM: Glaskörpermembran, GF: Glaskörperfibrillen

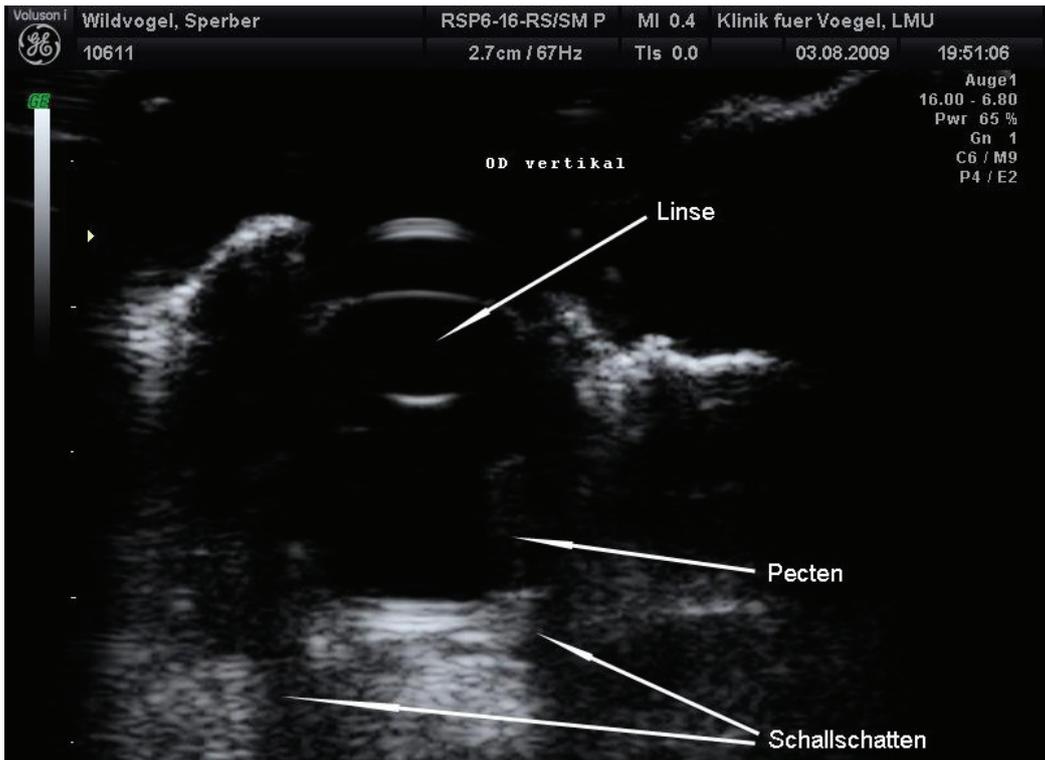


Abbildung 26: Schallschatten durch den Skleralring³³

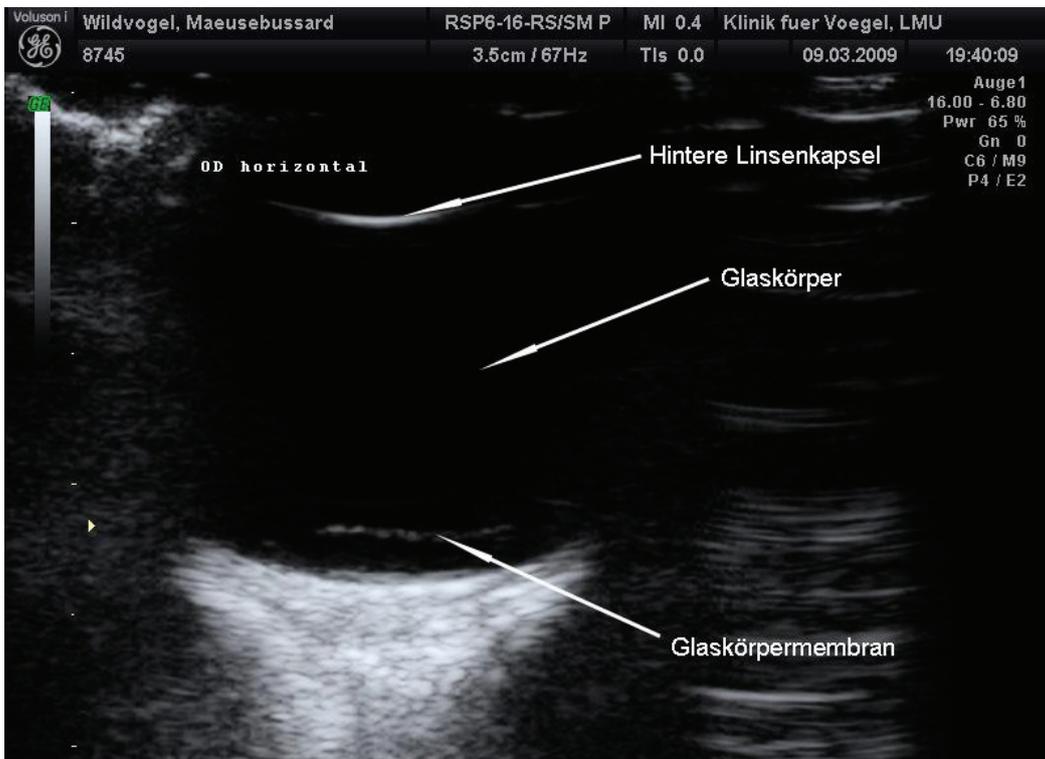


Abbildung 27: Häufiger physiologischer Befund im Fundus von Taggreifvögeln³⁴

³³ Sperber (*Accipiter nisus*, L. 1758), OD axial vertikal

³⁴ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD axial horizontal

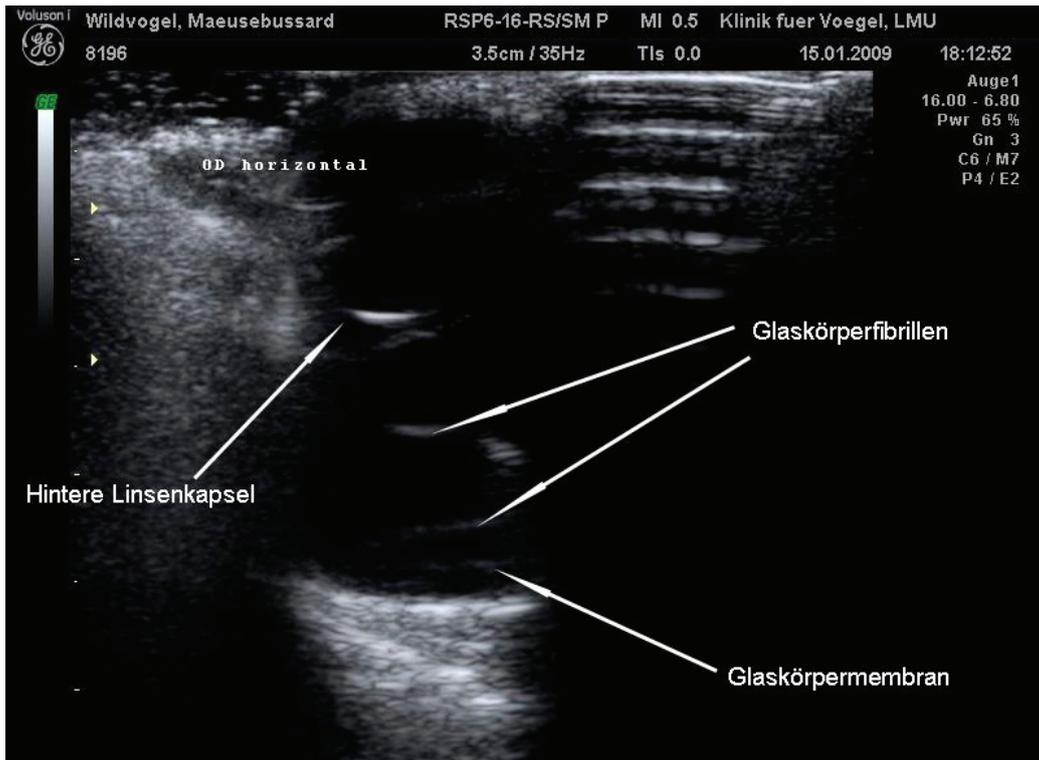


Abbildung 28: Häufiger physiologischer Befund im Glaskörper von Taggreifen³⁵

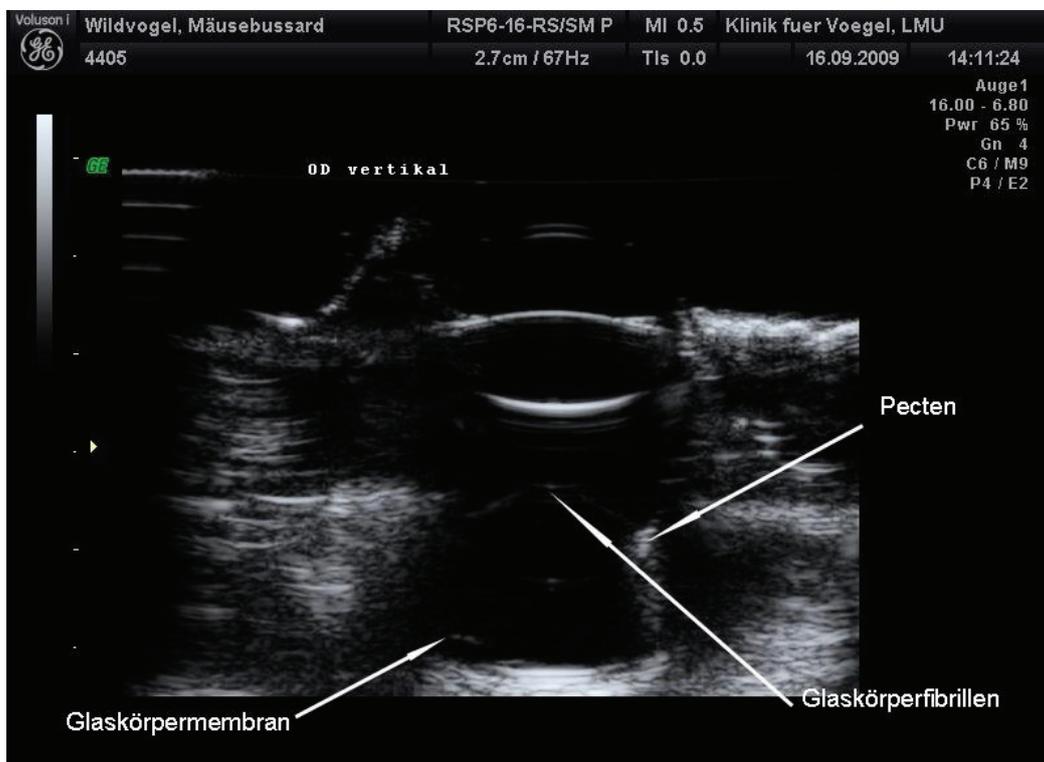


Abbildung 29: Häufiger physiologischer Befund im Glaskörper von Taggreifen³⁶

³⁵ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD axial vertikal

³⁶ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD axial horizontal

4.2.1.6 Hintere Augenkammer

Die hintere Augenkammer stellte sich während der Untersuchung leicht hyperechogen dar und grenzte sich vom retrobulbären Bindegewebe durch den sich an- bis mäßig echogen darstellenden Tenonschen Raum ab. Dieser war in nahezu allen Fällen deutlich erkennbar. Auch wenn teilweise eine Schichtung der hinteren Augenkammer beobachtet werden konnte, ist eine genaue Differenzierung der einzelnen Schichten – Retina, Choroidea und Sklera – im physiologischen Zustand schwierig.

Zudem konnte festgestellt werden, dass sich die hintere Augenkammer bei den Eulenvögeln zumeist nicht so klar und scharf begrenzt zeigte wie bei tagaktiven Greifvögeln (vgl. Abbildung 26 und Abbildung 28) sondern vielmehr leicht unruhig darstellte, was in einem leicht verwaschenen Übergang zum Glaskörper hin resultierte (vgl. Abbildung 30).

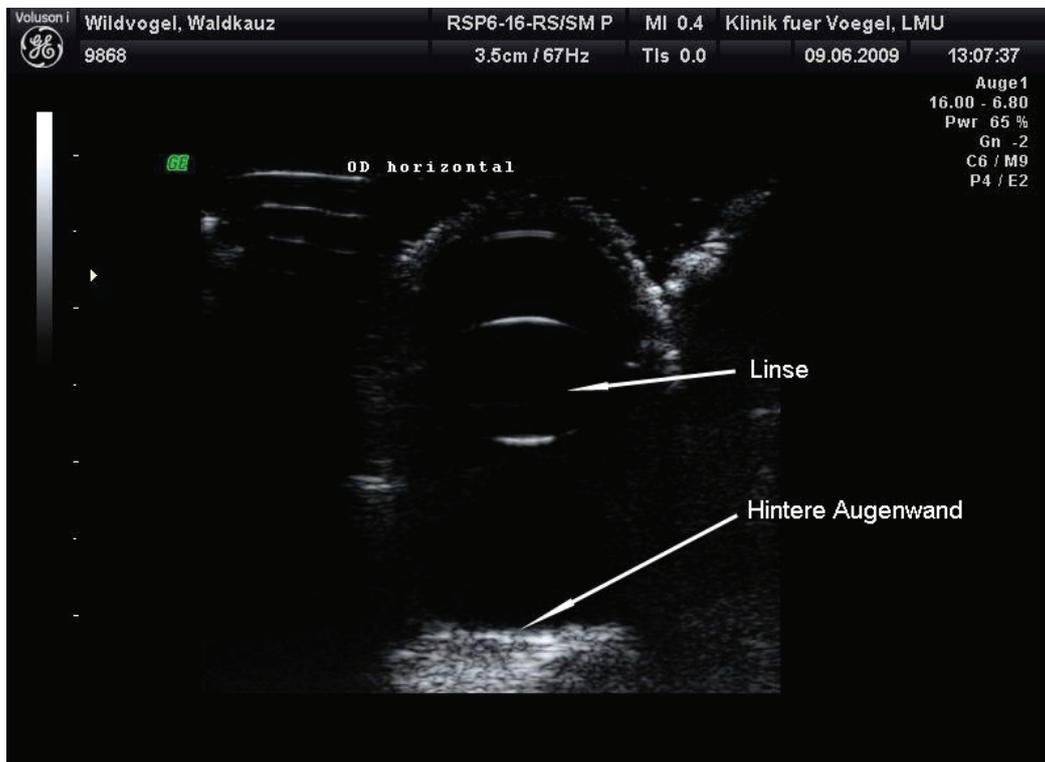


Abbildung 30: Unruhige hintere Augenkammer als physiologischer Befund bei Eulenvögeln³⁷

³⁷ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OD axial horizontal

4.2.1.7 Pekten

Der Augenfächer zeigte sich als eine mittelmäßig echogene Struktur, die von der hinteren Augenhaut in den Glaskörper ragte. Die Kontur war artspezifisch geformt, was in Abbildung 31 bis Abbildung 39 zu sehen ist. Die Augenfächer tagaktiver Greifvögel (vgl. Abbildung 31 bis Abbildung 34) waren in ihrer Gesamtheit im Vergleich zu den Eulenvögeln deutlich länger und auch schmaler geformt. Doch auch bei Schleiereule (vgl. Abbildung 35) und Steinkauz (vgl. Abbildung 38) zeigte der Pecten oculi eine verhältnismäßig lange und schmale Gestalt, während er bei Waldohreule, Waldkauz und Uhu (vgl. Abbildung 36, Abbildung 37 und Abbildung 39) kompakter und kürzer erschien.



Abbildung 31: Pekten Mäusebussard



Abbildung 32: Pekten Sperber



Abbildung 33: Pekten Habicht



Abbildung 34: Pekten Turmfalke



Abbildung 35: Pekten Schleiereule



Abbildung 36: Pekten Waldohreule



Abbildung 37: Pekten Waldkauz

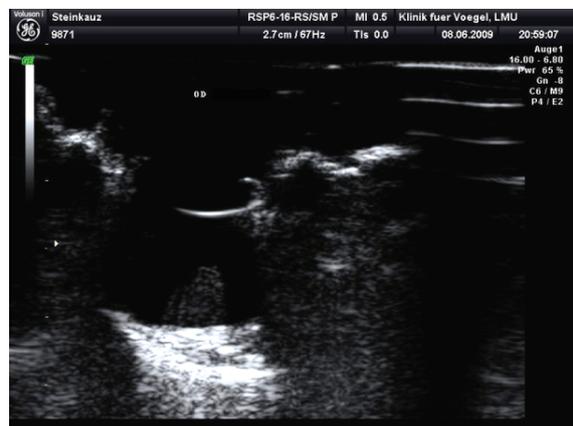
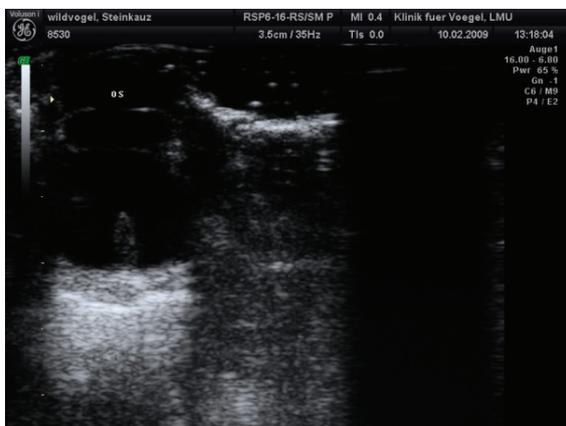


Abbildung 38: Pekten Steinkauz

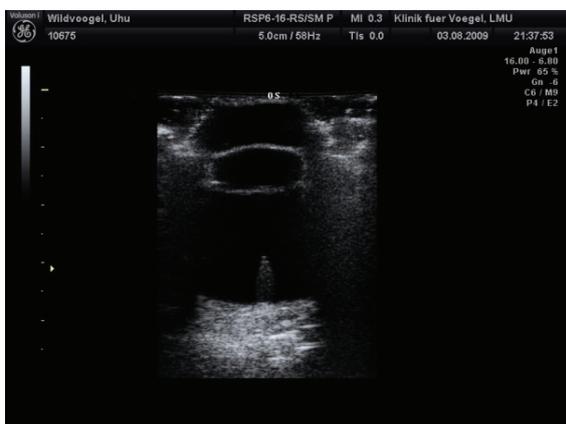


Abbildung 39: Pekten Uhu

4.2.1.8 Nervus opticus

Der Sehnerv zeigte sich als eine längliche, von der Insertionsstelle unterhalb des Augenfächers in die Tiefe der Orbita ziehende Struktur von relativ geringer Echogenität. Er konnte lediglich bei 69,4 % der Augen (n=193) dargestellt werden (vgl. Abbildung 40).

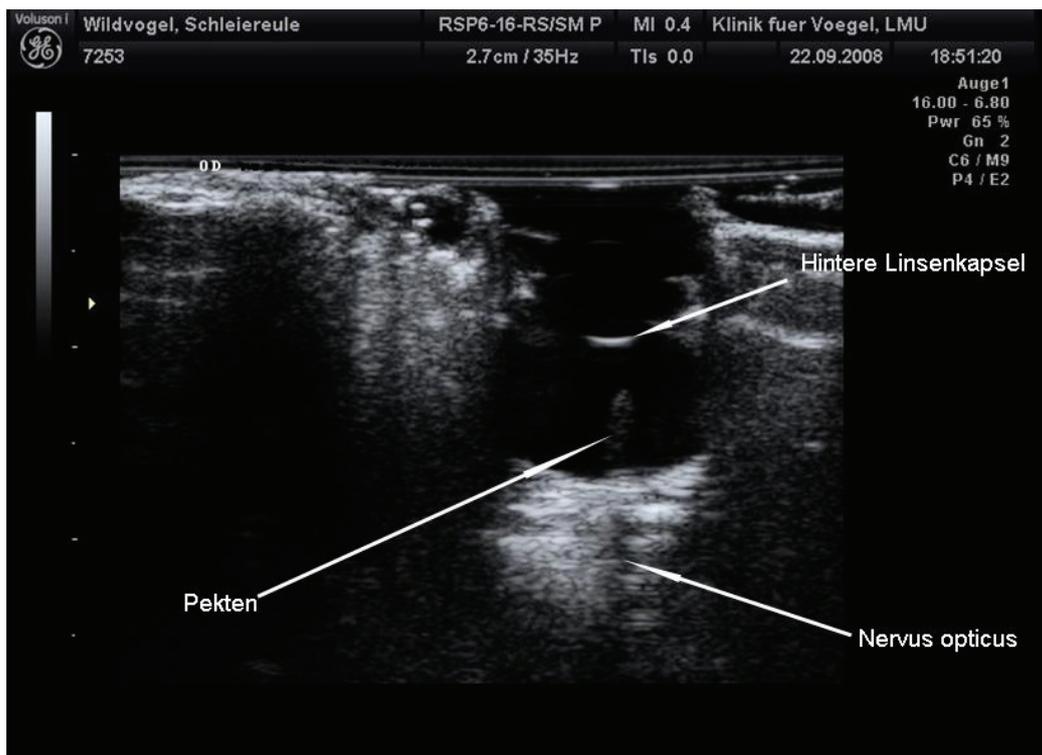


Abbildung 40: Nervus opticus³⁸

³⁸ Schleiereule (Tyto alba L. 1758), OD transversal

4.2.1.9 Extraokulare Muskulatur

Die extraokulare Muskulatur zog v-förmig von den Seiten des Bulbus in die Tiefe. Ihre Insertionsstellen konnten in der vertikalen und horizontalen Ebene aufgrund des Skleralringes nicht dargestellt werden. Sie stellte sich mäßig echogen dar und war deutlich vom stärker echogenen orbitalen Bindegewebe abzugrenzen, wie in Abbildung 41 zu erkennen ist.

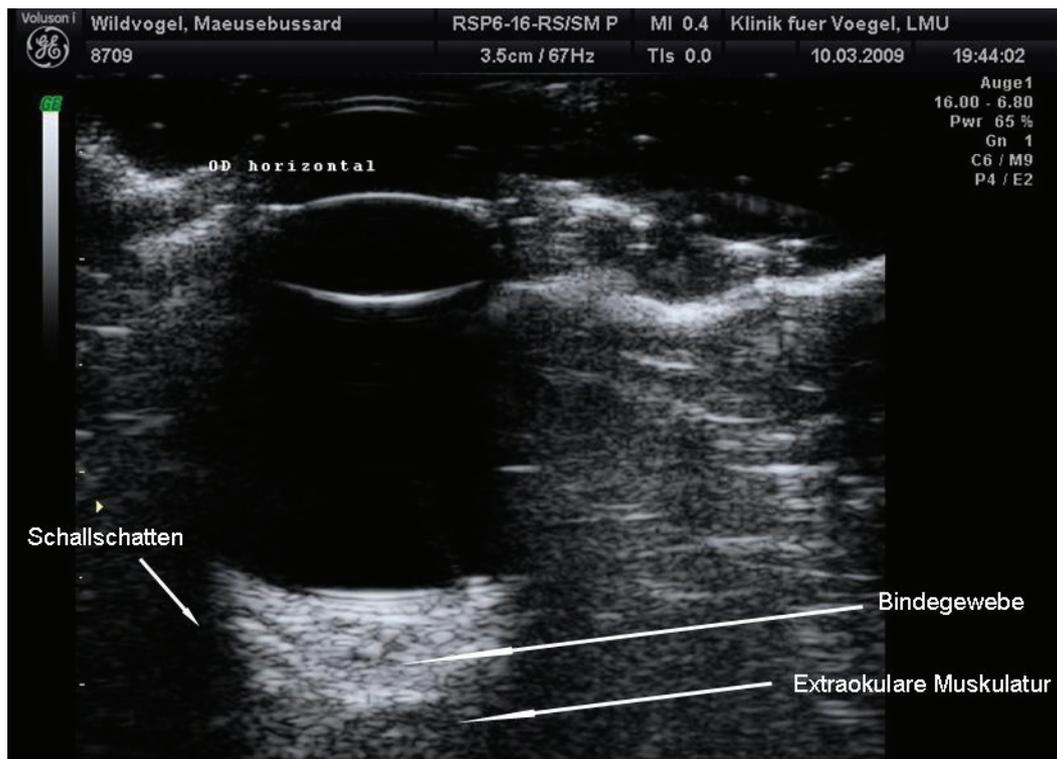


Abbildung 41: Sonografische Darstellung der extraokularen Muskulatur³⁹

³⁹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD axial horizontal

4.2.2 Darstellung und Darstellbarkeit pathologischer Veränderungen

Da bei 38,1 % (n=53) der Vögel, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden, entweder ein Trauma beobachtet worden war oder die Patienten weitere Symptome zeigten, die ein Trauma im Vorfeld vermuten ließen, standen Erkrankungen traumatischer Ätiologie im Vordergrund. Aber auch entzündlich bedingte Veränderungen wurden häufig beobachtet. Es konnte allerdings in der Regel nicht geklärt werden, ob ein durch eine Entzündung bedingter eingeschränkter Visus zu einem Trauma geführt hatte oder ob es aufgrund traumatischer Veränderungen zu einer Entzündung gekommen war.

In diesem Kapitel werden die post mortem angefertigten Fotografien sowie die Aufnahmen mit der SDO-Kamera vergleichend zu den sonografischen Befunden gezeigt, um die erhobenen Befunde zu evaluieren.

4.2.2.1 Kornea

Hornhautveränderungen traten nicht häufig auf und waren dann auch in keinem Fall schwerwiegend. Ihre Ätiologie war mit hoher Wahrscheinlichkeit in allen Fällen traumatischer Natur. Lediglich bei einer Schleiereule mit einer geringgradigen Keratitis wurde ein infektiöses Geschehen infolge einer Herpesvirusinfektion vermutet, welches sich allerdings nicht bestätigen ließ. Veränderungen der Hornhaut hatten für die sonografische Untersuchung nur insofern eine Bedeutung, als ein Hornhautulcus dazu führte, dass die Ultraschalluntersuchung als Vorsichtsmaßnahme verschoben wurde, bis dieser verheilt war.

Aufgrund der geringgradigen Ausprägung der Hornhautveränderungen waren diese sonografisch nicht von einem physiologischen Auge zu unterscheiden. Auch eine Zunahme des Hornhautdurchmessers konnte nicht beobachtet werden.

Perforationen der Kornea traten im Zeitraum dieser Arbeit nicht auf. Sie sollten darüber hinaus sonografisch nicht von Bedeutung sein, da sie bereits im Rahmen der ophthalmologischen Untersuchung diagnostiziert werden können.

4.2.2.2 Vordere Augenkammer

Veränderungen der vorderen Augenkammer zeichneten sich stets durch das Vorkommen von Fremdmaterial aus. Dabei handelte es sich entweder um Fibrin oder um Blut.

4.2.2.2.1 Hyphaema

Bei 2,2 % der untersuchten Augen (n=6) wurde ein Hyphaema festgestellt, wobei der Grad der Ausprägung von sehr geringgradig – also lediglich sehr feinen Schlieren – bis hin zur vollständigen Füllung der vorderen Augenkammer mit Blut reichte.

Geringgradige oder auch sehr frische Einblutungen bereiteten teilweise Schwierigkeiten bei der sonografischen Darstellung, da frische Blutungen sich nur mäßig vom umgebenden Kammerwasser differenzieren ließen und feine Schlieren oft nur ein sehr schwaches Echo hervorriefen. Dementsprechend war die sonografische Darstellung des Blutes sehr unterschiedlich und wurde beeinflusst vom Blutvolumen sowie dem Alter der Blutung. Je geringer die Menge war, desto weniger echogen waren die Strukturen, und auch sehr frische Blutungen stellten sich hypo- bis nur gering echogen dar. Starke frische Blutungen wiederum führten zu einem sich mäßig echogen darstellenden Bereich, während alte Blutungen durchaus als echogen oder sogar stark echogen angesprochen werden konnten. Das Alter einer Blutung konnte somit zu einem gewissen Grad anhand von deren Echogenität beurteilt werden.

Abbildung 42 zeigt ein frisches, Abbildung 43 ein etwas älteres aber geringgradiges, Abbildung 44 ein schon älteres Hyphaema von größerem Ausmaß.

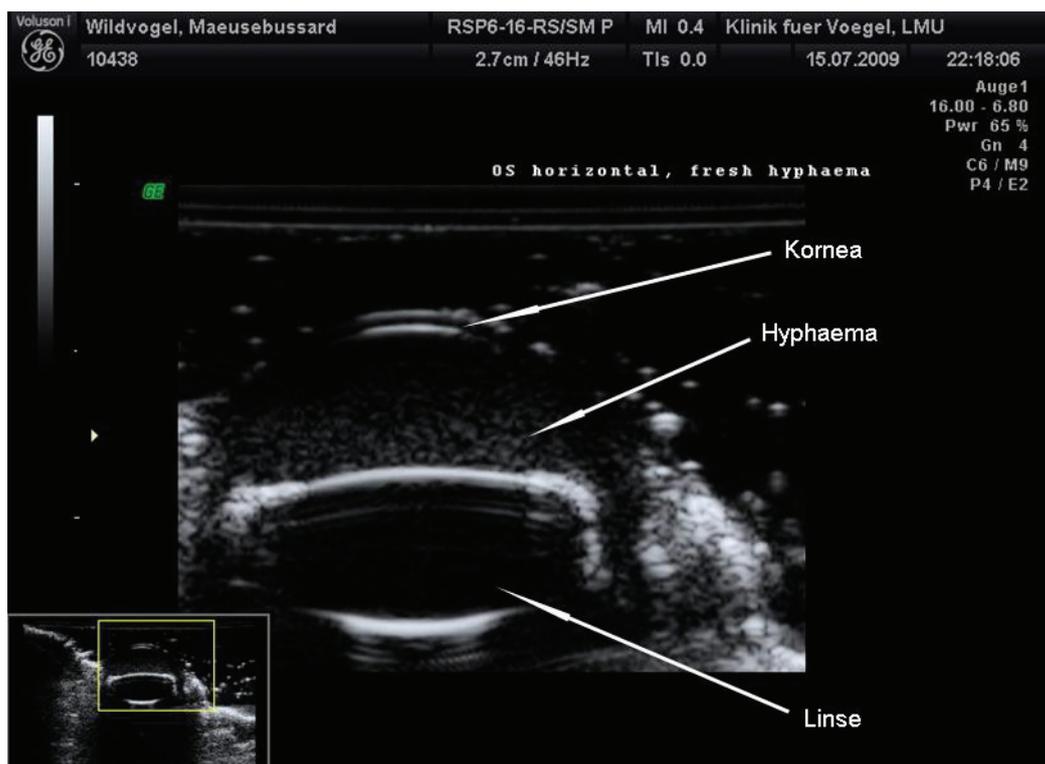


Abbildung 42: Großflächiges frisches Hyphaema⁴⁰

⁴⁰ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OS axial horizontal

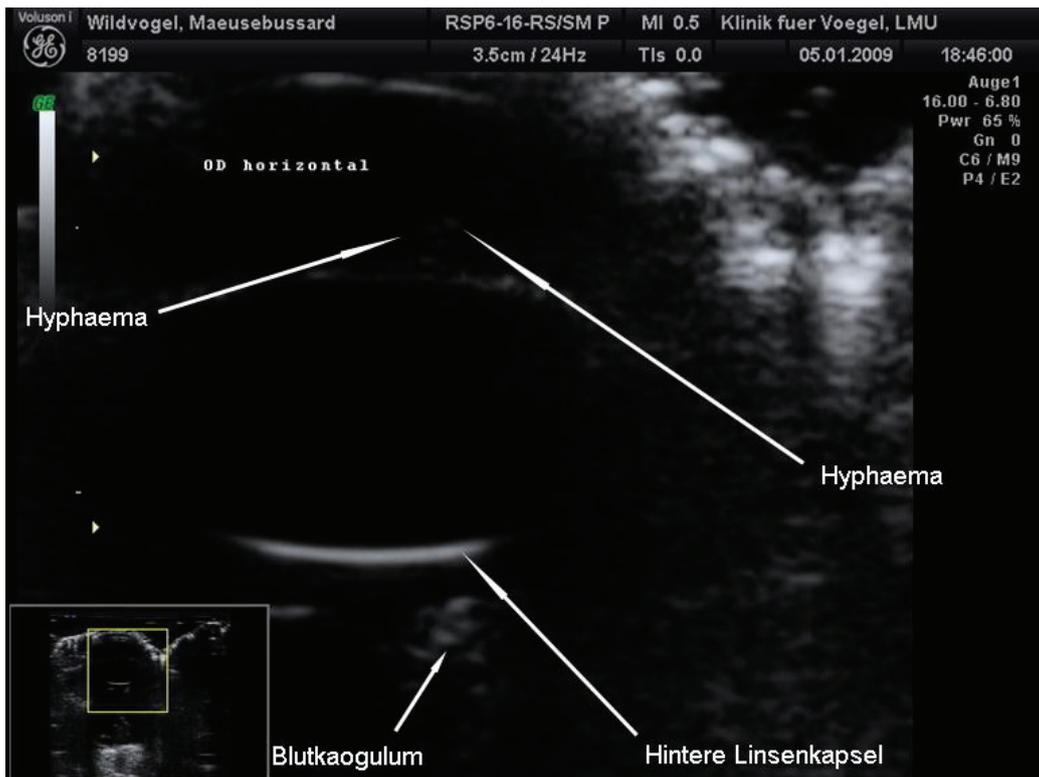


Abbildung 43: Geringgradiges älteres Hyphaema⁴¹

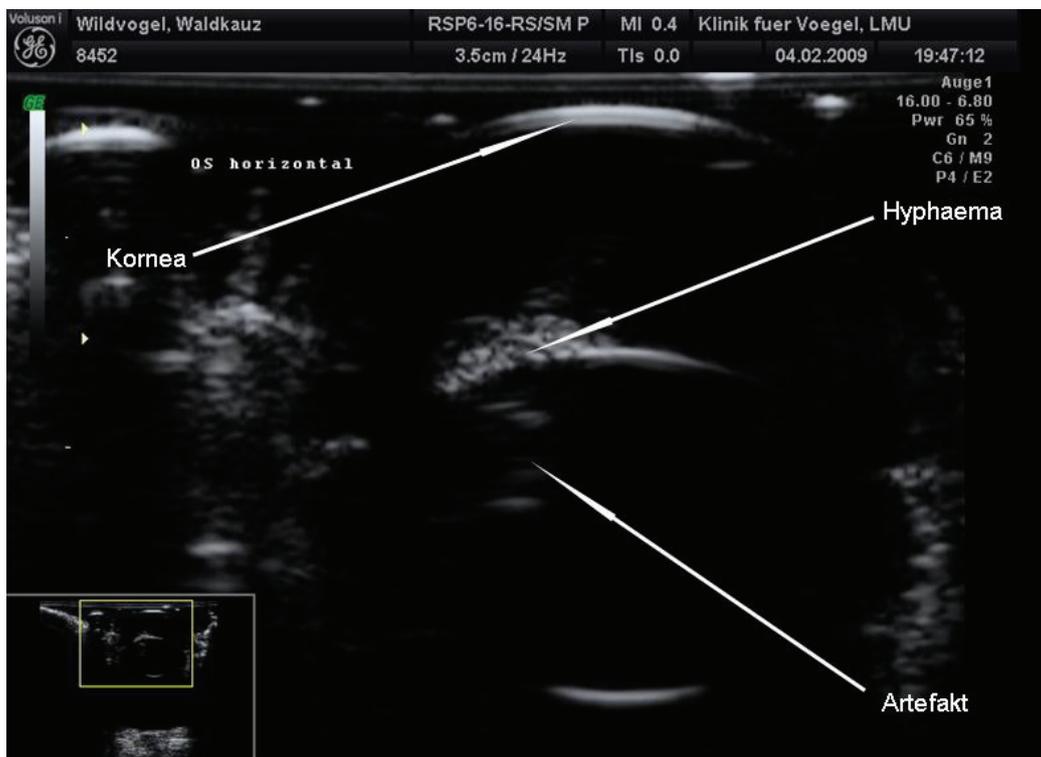


Abbildung 44: Großflächiges älteres Hyphaema⁴²

⁴¹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD axial horizontal

⁴² Waldkauz (*Strix aluco*, 1758), OS axial horizontal

4.2.2.2 Fibrin

Fibrin in der vorderen Augenkammer wurde bei 1,4 % der Augen (n = 4) gefunden und war in der Regel in Form von deutlich umschriebenen Strukturen zu sehen, die entweder die Form von Schlieren, dickeren Strängen oder auch Koagula annahm. Sonografisch stellten sich diese Strukturen in der Regel stark echogen dar, allerdings gilt auch für sehr feine Fibrinschleier das bereits unter 4.2.2.1 beschriebene Problem der erschwerten Darstellung. Abbildung 45 zeigt das Auge einer Waldohreule mit leichten Fibrinschlieren in der vorderen Augenkammer.

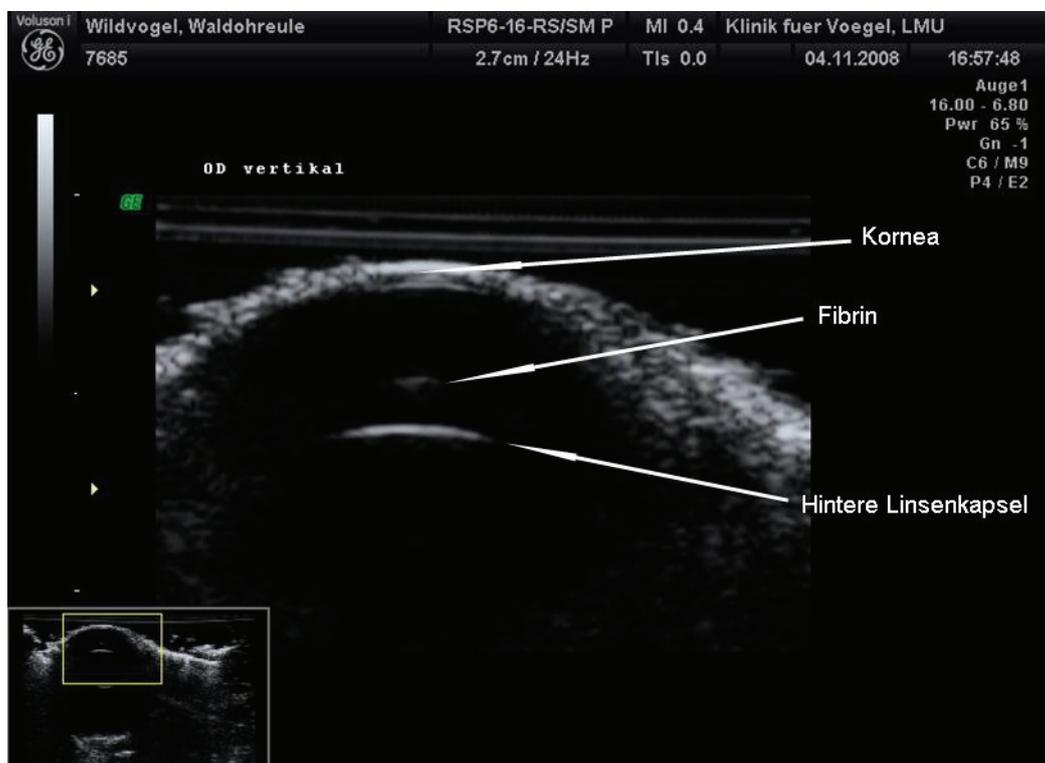


Abbildung 45: Fibrin in der vorderen Augenkammer⁴³

⁴³ Waldohreule (Asio otus, L. 1758), OD axial vertikal

4.2.2.3 Iris und Ziliarkörper

Veränderungen von Iris und Ziliarkörper wurden lediglich in Form von hinteren Synechien in 1,1 % der Augen (n=3) beobachtet.

4.2.2.3.1 Hintere Synechie

Aufgrund der beim Vogel sehr kleinen hinteren Augenkammer ist die Feststellung einer hinteren Synechie mittels Ultraschall relativ schwierig. In den hier untersuchten Fällen äußerte sich diese lediglich dadurch dass die Bewegungen der Iris im Rahmen der Pupillarbewegungen einseitig eingeschränkt waren, bzw. dadurch dass sich die mäßig echogene Iris unilateral unmittelbar an die Linse anschmiegte und nahezu bis ins Linsen-zentrum reichte (vgl. Abbildung 46).

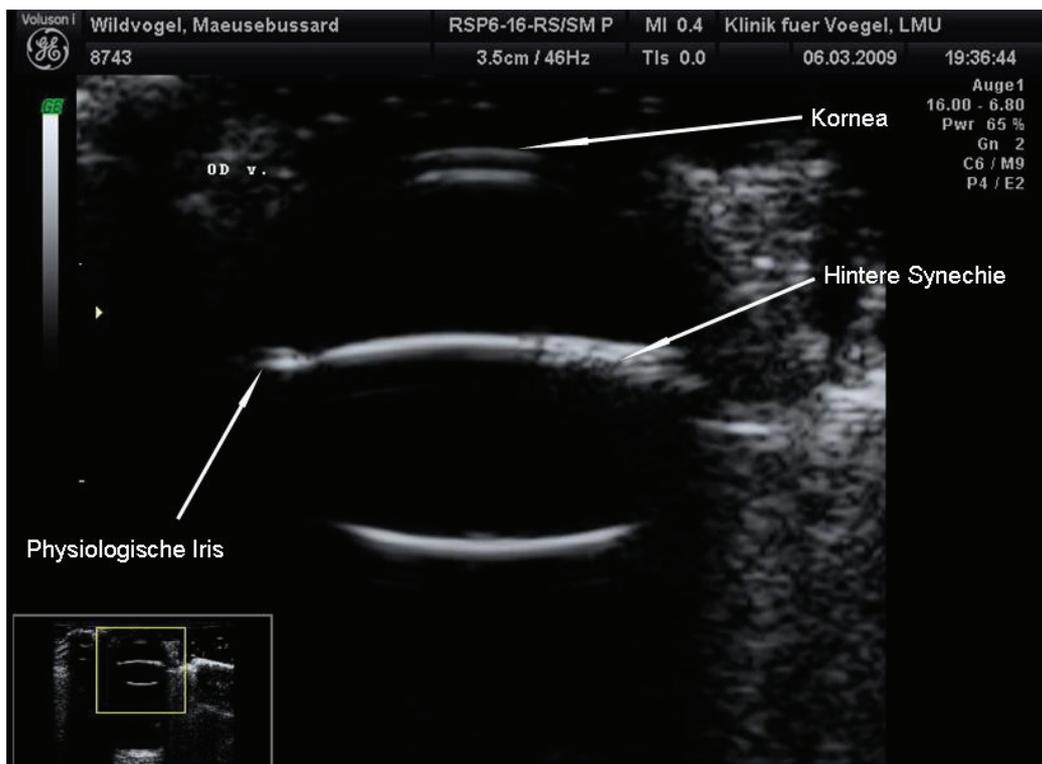


Abbildung 46: Hintere Synechie⁴⁴

⁴⁴ Mäusebussard, (*Buteo buteo*, L. 1758), OD axial vertikal

4.2.2.4 Uvea

4.2.2.4.1 Entzündungen

Eine Uveitis, welche in 2,9 % aller Augen (n=8) diagnostiziert wurde, konnte dann sonografisch dargestellt werden, wenn es zu Trübungen des Glaskörpers kam und äußerten sich darin dass der Glaskörper in solchen Fällen hypoechogen darstellte. Eine Iridozyklitis oder Choroiditis – sei sie auf diese beschränkt oder stehe in Zusammenhang mit einer Entzündung der Retina – konnte im B-Mode hingegen nicht dargestellt werden. Untersuchungen mittels Dopplersonografie wurden hierfür nicht durchgeführt.

4.2.2.4.2 Ablation der Choroidea

Eine Ablösung der Choroidea wurde in vivo nicht beobachtet, soll hier aber kurz Erwähnung finden, da eine Ablösung der Netzhaut beim Vogel wie bereits erwähnt häufig mit einer Ablösung der Choroidea einhergeht. Dieses Phänomen trat häufig während der Fixierung der Augen in Formalin auf – hier speziell in den Fällen, in denen die vordere Augenkammer nicht mit Formalin aufgefüllt worden war und der Augeninnendruck aufgrund osmotischer Vorgänge gesunken war.

Die gemeinsame Ablösung von Choroidea und Retina stellte sich im Ultraschall als eine sich mehr oder weniger stark in den Glaskörper hervorwölbende Struktur dar, die aus zwei parallel zueinander verlaufenden hyperechogenen Linien mit einem dazwischen liegenden anechogenen Spalt bestand (vgl. Abbildung 48).

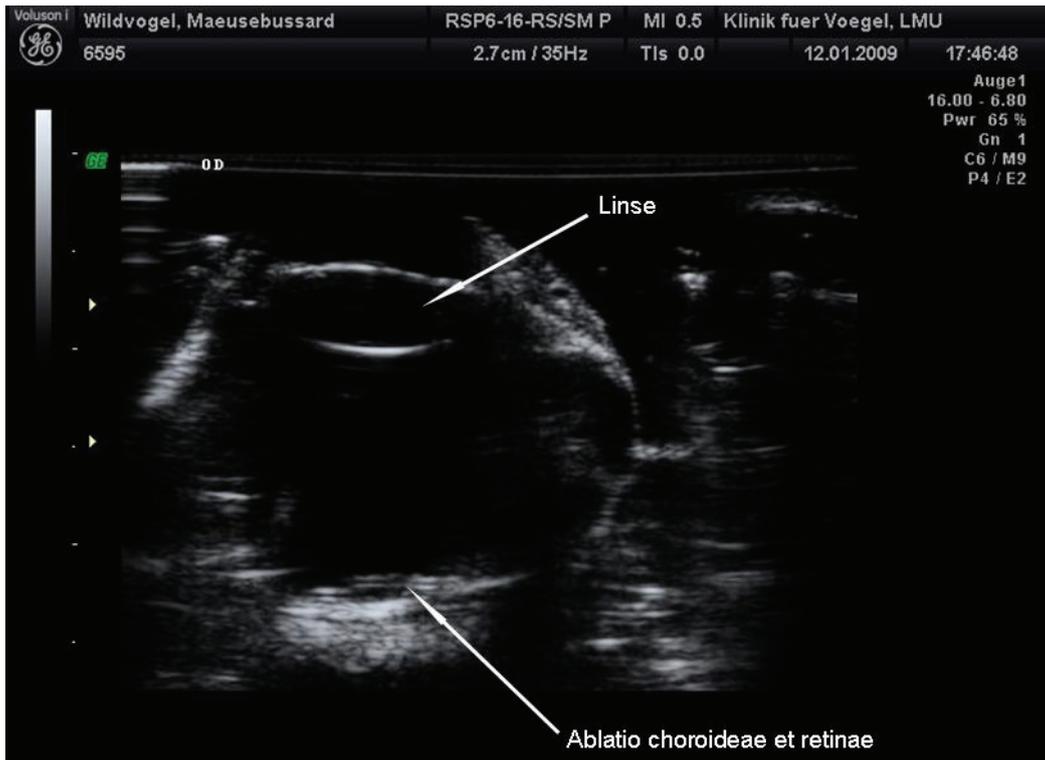


Abbildung 47: Ablatio choroideae et retinae (1)⁴⁵



Abbildung 48: Ablatio choroideae et retinae (2)⁴⁶

⁴⁵ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758) OD post mortem und enukleiert, Ebene nicht bekannt

⁴⁶ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758) OD ventraler Bulbus, Blende 40, 1/250 s, f=60 mm

4.2.2.5 Retina

4.2.2.5.1 (Chorio-) Retinitis

Zwar wiesen 7,9 % der untersuchten Augen (n=22) eine Chorioretinitis auf, die in 72,7 % bilateral vorlag, doch es war nicht möglich, diese sonografisch sicher darzustellen.

4.2.2.5.2 Retinaödem

Ein Ödem der Netzhaut zeigte sich als eine Erhabenheit der Retina, wobei der Raum zwischen der anterior gerichteten Oberfläche und den weiteren Anteilen der hinteren Augenhwand sich aufgrund von Flüssigkeitsansammlungen hypoechogen darstellte. Abbildung 49 zeigt ein traumatisch bedingtes Retinaödem bei einem Waldkauz nach einem Autounfall, welches sich im Rahmen der Rekonvaleszenz des Vogels zurückbildete. Es blieben keine Schäden zurück, der Vogel wurde wieder ausgewildert.

Da sich der Augenhintergrund bei Eulenvögeln in der Regel deutlich rauer darstellt als bei tagaktiven Greifvögeln und auch eine abgelöste Netzhaut nicht dieselbe Echogenität besitzt wie beim Säugetier, ist die Abgrenzung einer nur geringgradigen subretinalen Flüssigkeitsansammlung von einem physiologischen Fundus unter Umständen erschwert.



Abbildung 49: Retinaödem⁴⁷

⁴⁷ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OS axial vertikal

4.2.2.5.3 Netzhautablösung

Eine partielle Ablösung der Netzhaut wurde bei 2,2 % der Augen (n=6) mittels ophthalmologischer Untersuchung diagnostiziert. Sie stellte sich als eine echogene in den Glaskörper ragende Linie dar, wie Abbildung 50 und Abbildung 52 zeigen. In der sonografischen Untersuchung war die Darstellung solcher partieller Netzhautablösung häufig schwierig und nicht so eindeutig als eine solche zu erkennen wie beim Säugetier. Zudem kann es bei einer gleichzeitig vorliegenden Einblutung in den Glaskörper schwierig sein, eine partielle Netzhautablösung zu erkennen (vgl. Abbildung 51).

Totale Netzhautablösungen entstanden lediglich im Rahmen der Fixierung enukleierter Augen, wie in Abbildung 55 veranschaulicht wird. Zu beachten ist die gleichzeitig bestehende artifizielle Dislokation der Linse. Sonografisch stellten sich totale Netzhautablösungen als echogene, in den Glaskörper ragende wellenförmige Strukturen dar (vgl. Abbildung 54). In vitro war die Echogenität der abgelösten Netzhaut mit derjenigen des Säugers vergleichbar.

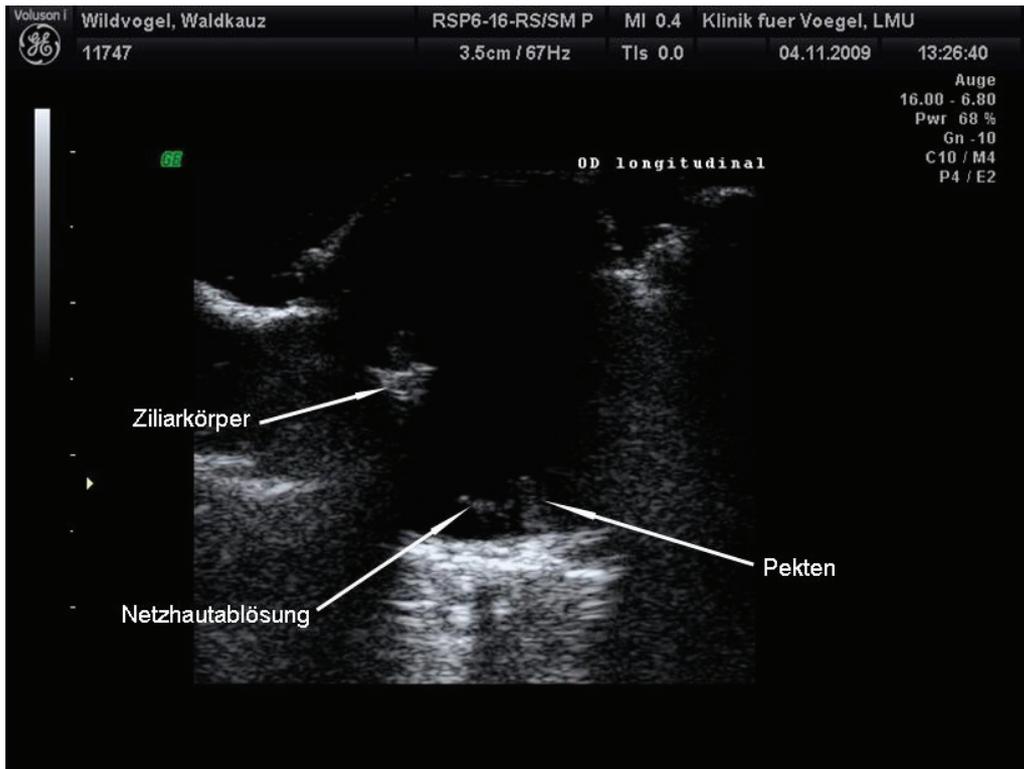


Abbildung 50: Partielle Ablatio retinae⁴⁸

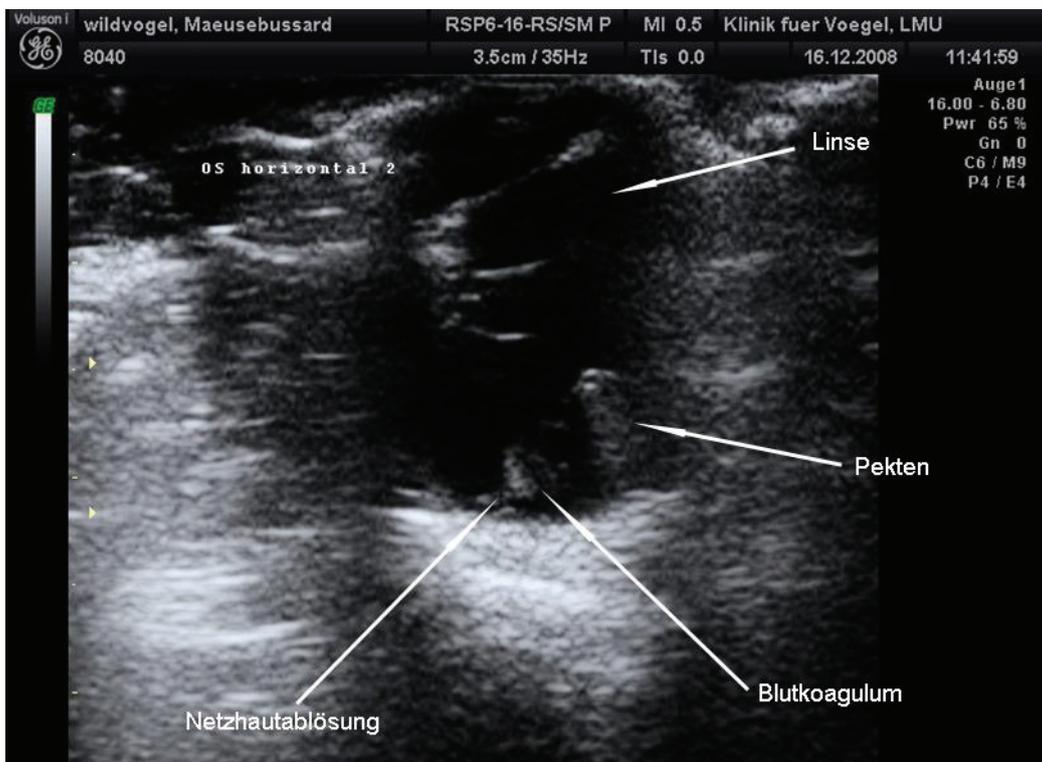


Abbildung 51: Partielle Ablatio retinae und Hämorrhagia intravitreal⁴⁹

⁴⁸ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OD longitudinal

⁴⁹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OS transversal

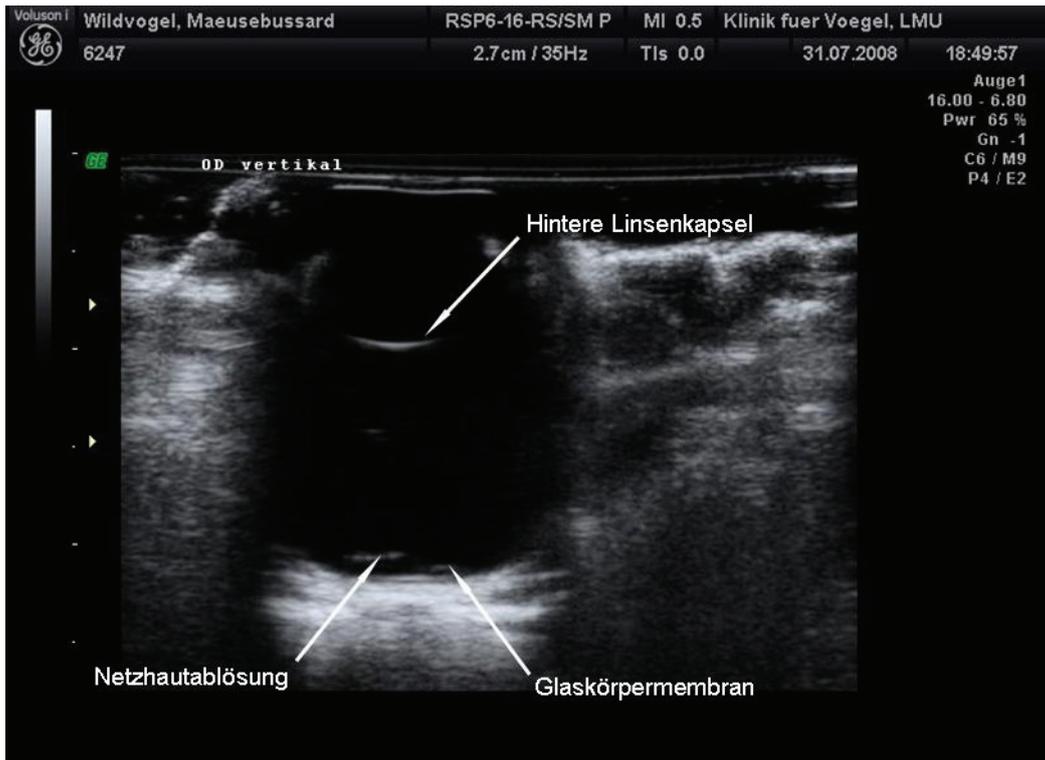


Abbildung 52: Partielle Ablatio retinae (1)⁵⁰



Abbildung 53: Partielle Ablatio retinae(2)⁵¹

⁵⁰ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L.1758) OD axial vertikal

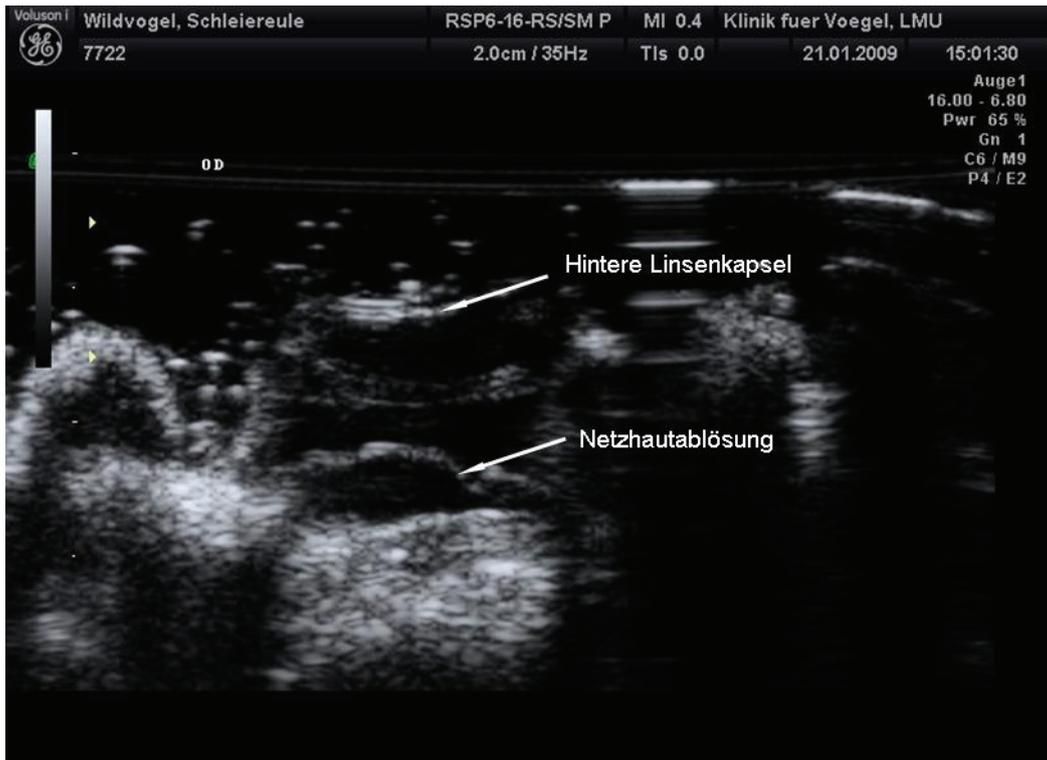


Abbildung 54: Vollständige Netzhautablösung (1)⁵²



Abbildung 55: Vollständige Netzhautablösung (2)⁵³

⁵¹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD, SDO-Kamera, dorsaler Fundusbereich mit Ablatio retinae und Fovea temporalis et nasalisis

⁵² Schleiereule (*Tyto alba*, L. 1758), OD post mortem und enukleiert, Ebene unbekannt

4.2.2.6 Pekten

Pathologische Veränderungen, welche den Pekten betrafen, hatten in 93,3 % der Fälle (n=14) eine traumatische Ätiologie. Degenerative Veränderungen des Augenfächers wurden im Rahmen dieser Arbeit bei einem Mäusebussard in Zusammenhang mit einer starken Fibrinbildung infolge von Einblutungen in den Glaskörper beobachtet. In diesem Fall war aufgrund des Fibrins keine direkte Abgrenzung des Augenfächers möglich, allerdings konnte mittels Dopplersonografie ein Fehlen des Blutflusses festgestellt werden. Auch Schwingungen des Augenfächers im Rahmen der oszillatorischen Augenbewegungen konnten im B-Mode nicht mehr beobachtet werden.

4.2.2.6.1 Hämorrhagien

Vom Pekten ausgehende Blutungen wurden in 9,7 % aller Augen (n=27) diagnostiziert.

Analog zu Einblutungen in die vordere Augenkammer konnten sehr feine Blutschlieren häufig nicht oder nur sehr schwierig dargestellt werden. Dies lag daran, dass diese entweder durch eine zu geringe Verstärkung keine ausreichend starken Echos hervorriefen oder dass die feinen Strukturen bei höherer Gesamtverstärkung durch Rauschen überdeckt wurden und daher keine Differenzierung zwischen Artefakt und tatsächlich vorhandener Struktur möglich war.

Einblutungen in den Glaskörper zeigen sich sehr vielgestaltig. Hierbei fiel auf, dass sehr feine und frische Blutungen (vgl. Abbildung 56 und Abbildung 57) sich sonografisch lediglich in einer geringgradig vermehrten Echogenität äußerten, während sich eine stärkere vom Augenfächer ausgehende Blutung als eine umschriebene echogene Struktur darstellte (vgl. Abbildung 58 und Abbildung 59).

⁵³ Schleiereule (*Tyto alba*, L. 1758), OD post mortem, ventraler Bulbus, Blende 40, 1/250 s, f=60mm, beachte artifizielle Luxatio lentis



Abbildung 56: Diffuse Glaskörpertrübung bei ggr. Hämorrhagia intravitreale (1)⁵⁴



Abbildung 57: Diffuse Glaskörpertrübung bei ggr. Hämorrhagia intravitreale (2)⁵⁵

⁵⁴ Sperber (*Accipiter nisus*, L. 1758), OS axial vertikal

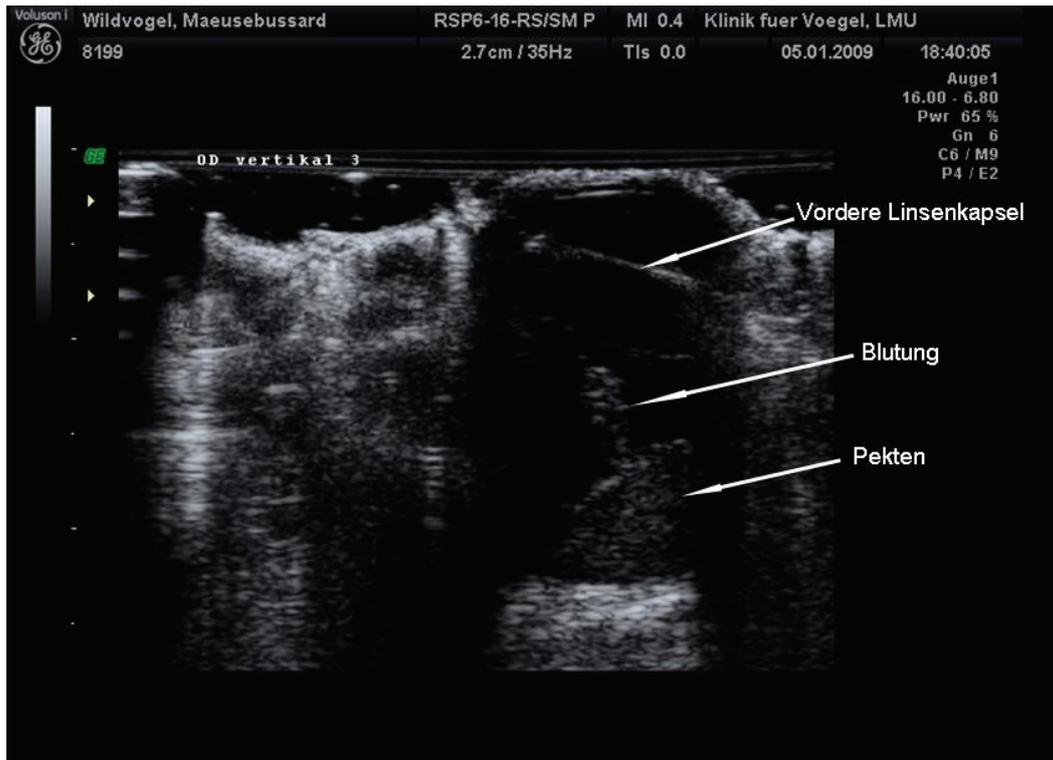


Abbildung 58: Blutungen des Augenfächers (1)⁵⁶



Abbildung 59: Blutungen des Augenfächers (2)⁵⁷

⁵⁵ Sperber (*Accipiter nisus*, L. 1758), OS ventraler Bulbus, Blende 40, 1/250 s, f=60mm

⁵⁶ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD longitudinal

4.2.2.6.2 Abriss

Ein vollständiger Abriss des Augenfächers wurde nicht beobachtet, allerdings wurde bei 2,9% der Augen (n=4) jeweils unilateral ein partieller Abriss unterschiedlichen Ausmaßes beobachtet.

Abbildung 60 und Abbildung 61 zeigen einen partiellen Abriss des Augenfächers im naso-ventralen Bereich mit konsekutiver Hämorrhagia intravitreale, welche eine Differenzierung des abgerissenen Anteils von den Blutkoagula nahezu unmöglich macht.

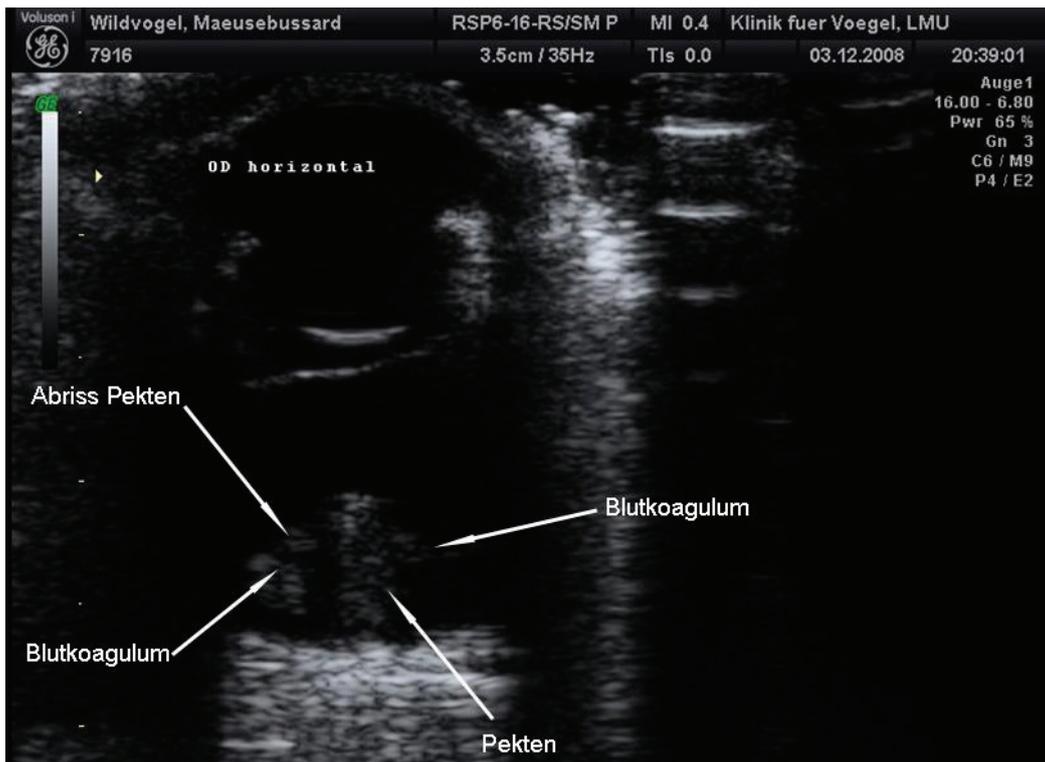


Abbildung 60: Partieller Pectenabriss und Hämorrhagia intravitreale (1)⁵⁸

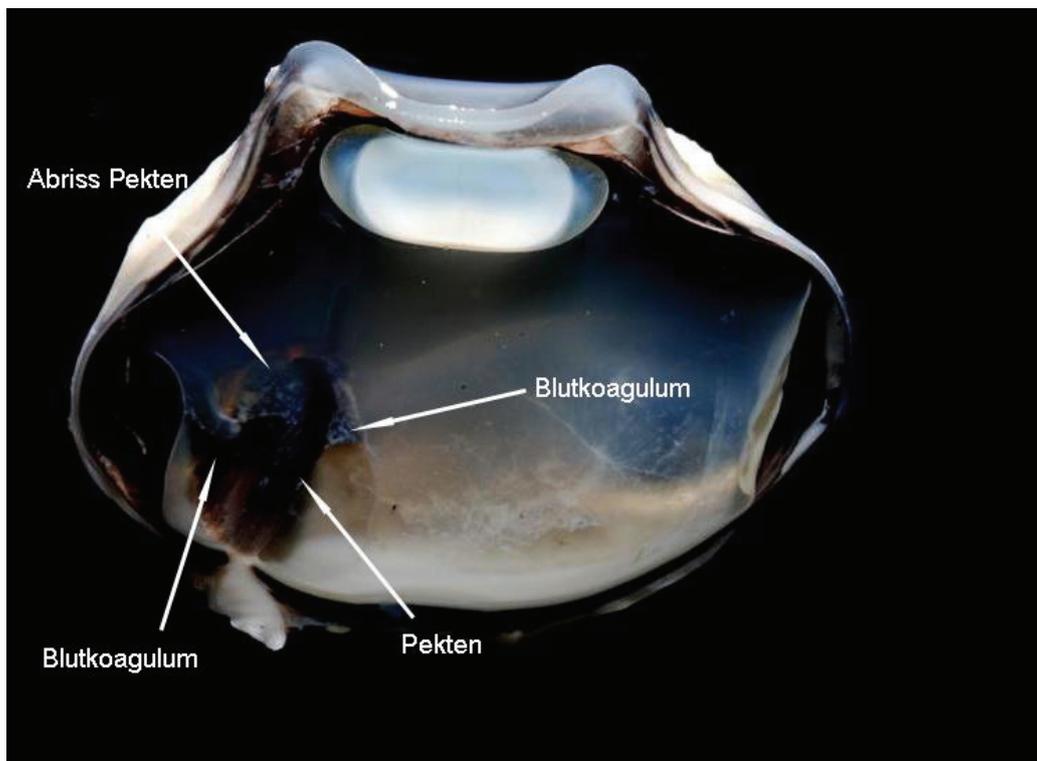


Abbildung 61: Partieller Pectenabriss und Hämorrhagia intravitreale (2)⁵⁹

⁵⁸ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD transversal

⁵⁹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OD, ventraler Bulbus, Blende 40, 1/250 s, f=60mm

4.2.2.7 Linse

Die häufigste Linsenveränderung war die Katarakt, wobei die Ätiologie in allen Fällen traumatischer Natur war. Zudem wurden im Frühling und Frühsommer viele juvenile Vögel in der Klinik eingeliefert, bei denen in der ophthalmologischen Untersuchung die so genannte „juvenile Katarakt“ festgestellt werden konnte. Bei den übrigen pathologischen Zuständen wie z.B. einer Ruptur der Linsenkapsel handelte es sich um Einzelfälle.

4.2.2.7.1 Katarakt

Eine Katarakt wurde bei 3,6 % der Augen (n=10) festgestellt. Dabei waren die Veränderungen bei vier Vögeln bi- und bei zweien unilateral zu finden. Es handelte sich bei zwei Vögeln um eine Cataracta immatura, welche in einem Fall unilateral zu finden war, bei einem Vogel um eine Cataracta matura sowie bei zweien um eine Cataracta hypermatura. Darüber hinaus wurde bei einem Waldkauz eine Schrumpfung der Linse (Linsenpyknose), vermutlich infolge einer Cataracta hypermatura mit konsekutiver Resorption des Linsenmaterials, beobachtet.

Abhängig von der Lokalisation der Katarakt, stellte sich diese sonografisch unterschiedlich dar. Eine Cataracta capsularis resultierte in einer verdickten und unregelmäßigen Linsenkapsel (vgl. Abbildung 66), während sich das physiologischerweise anechogene Linsenstroma bei einer Cataracta nuclearis in Abhängigkeit des Reifegrades der Linsenveränderung hypoechogen bis echogen darstellte.

Abbildung 62 zeigt eine fokale vakuoläre immature Cataracta polaris anterior, Abbildung 63 eine Cataracta nuclearis matura. In Abbildung 64 und Abbildung 65 wird die Schrumpfung der Linse sowohl sonografisch als auch in der Fotografie dargestellt. Zu beachten sind Reste der Iris auf der Linse infolge einer gelösten hinteren Synechie. In der fotografischen Aufnahme ist hier auch das artifizielle Einfallen der vorderen Augenkammer im Rahmen der Fixation auffällig.

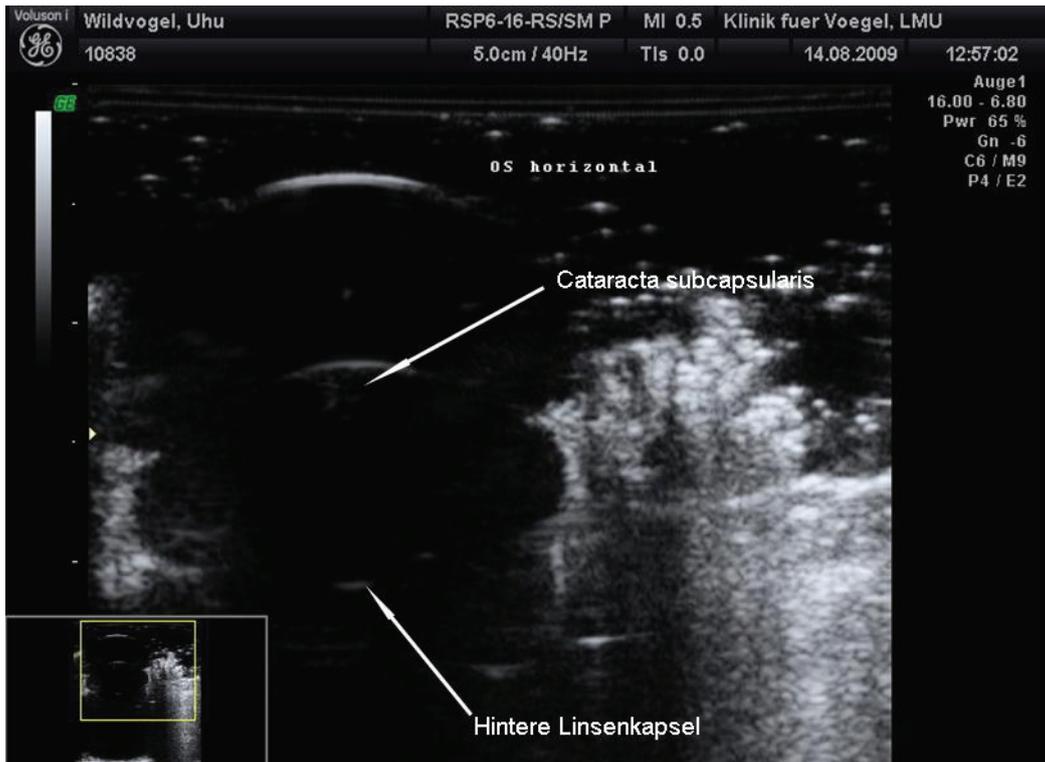


Abbildung 62: Cataracta immatura subcapsularis anterior⁶⁰

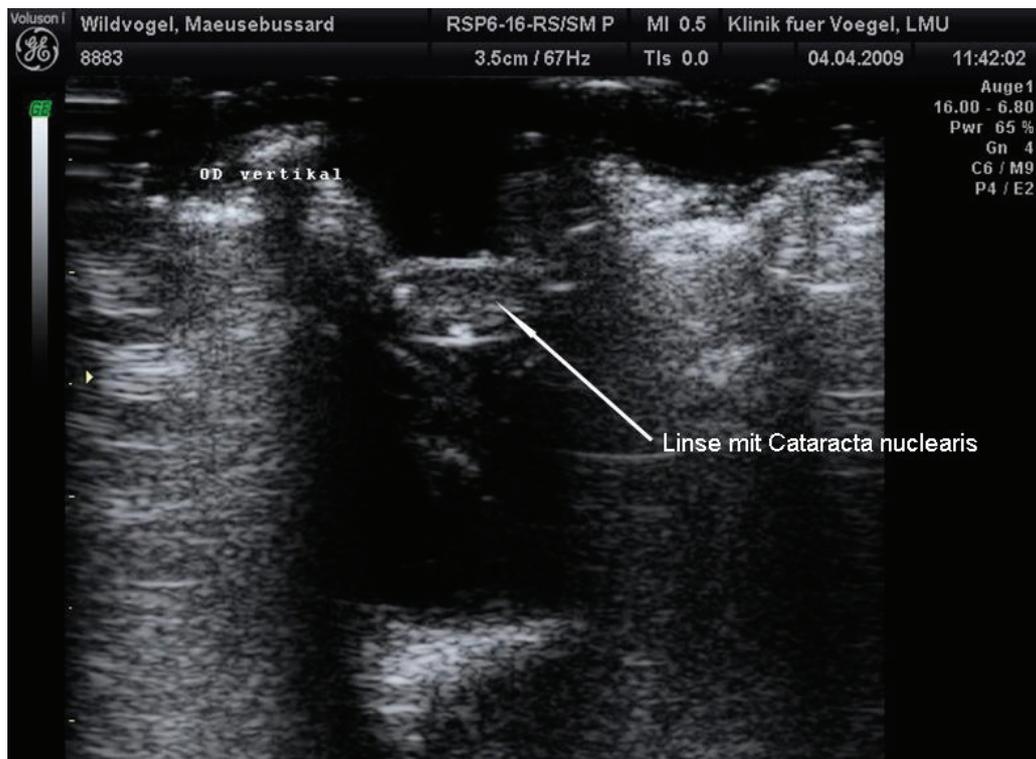


Abbildung 63: Cataracta matura nuclearis⁶¹

⁶⁰ Uhu (Bubo bubo, L.1758), OS axial horizontal

⁶¹ Mäusebussard (Buteo buteo, L.1758), OD axial vertikal

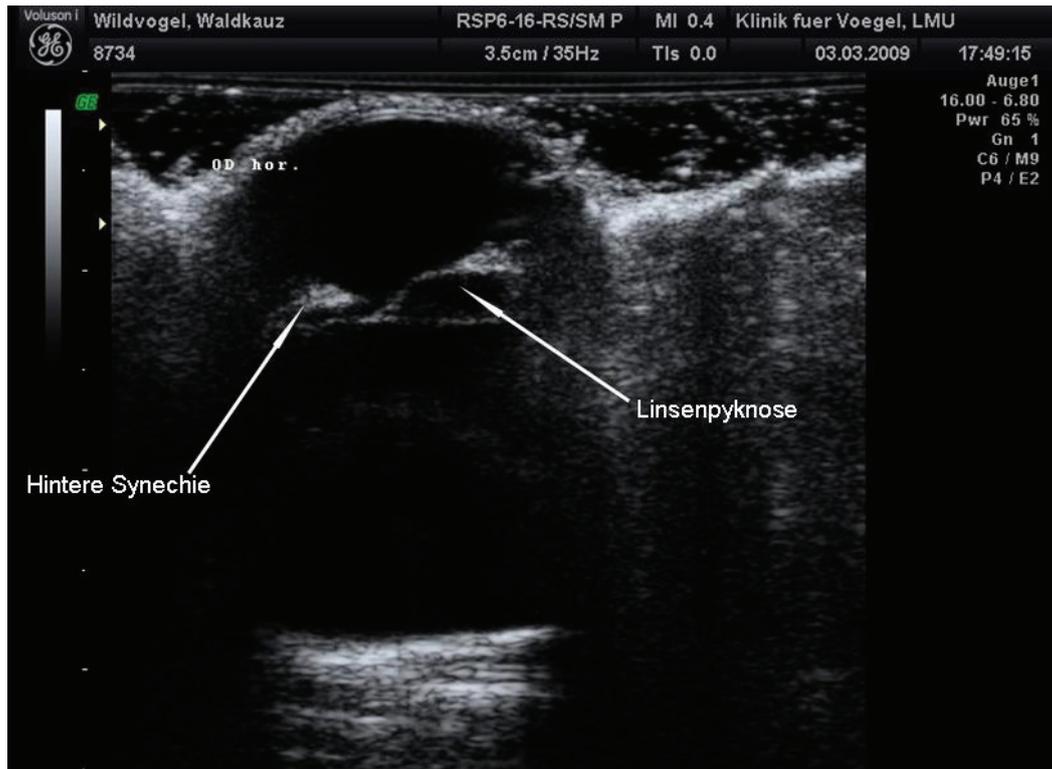


Abbildung 64: Linsenpyknose infolge Cataracta hypermatura (1)⁶²



Abbildung 65: Linsenpyknose infolge Cataracta hypermatura (2)⁶³

⁶² Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OD axial horizontal

4.2.2.7.2 Kapselruptur

Eine Ruptur der hinteren Linsenkapsel mit daraus folgendem Austritt von Linsenmaterial in den Glaskörper wurde bei zwei adulten Waldkäuzen beobachtet. Beide Vögel wiesen zusätzlich eine hypermature Katarakt auf. Sonografisch konnte die Kapselruptur als Zusammenhangstrennung der hinteren Linsenkapsel dargestellt werden (vgl. Abbildung 66). Darüber hinaus wurde eine asteroide Hyalose beobachtet. Das ausgetretene Material besaß eine kristallartige Struktur und zeigte mittlere bis fokal starke Echogenität (vgl. Abbildung 67). Der Charakter des ausgetretenen Materials wird besonders in der fotografischen Aufnahme des Auges deutlich. In Abbildung 68 ist zusätzliche eine artifizielle Subluxation der Linse im Bereich der ventralen Aufhängung zu sehen.

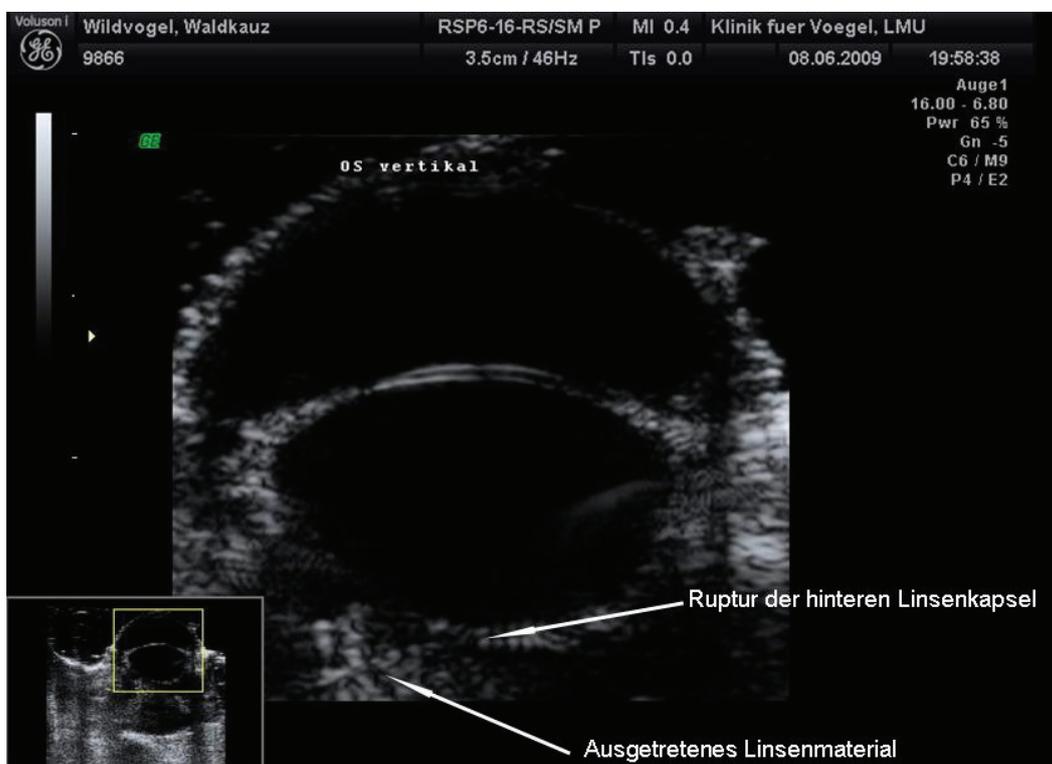


Abbildung 66: Zusammenhangstrennung der hinteren Linsenkapsel⁶⁴

⁶³ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OD ventraler Bulbus, beachte hintere Synechie, Blende 25, 6 s, f=60 mm

⁶⁴ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OS axial vertikal

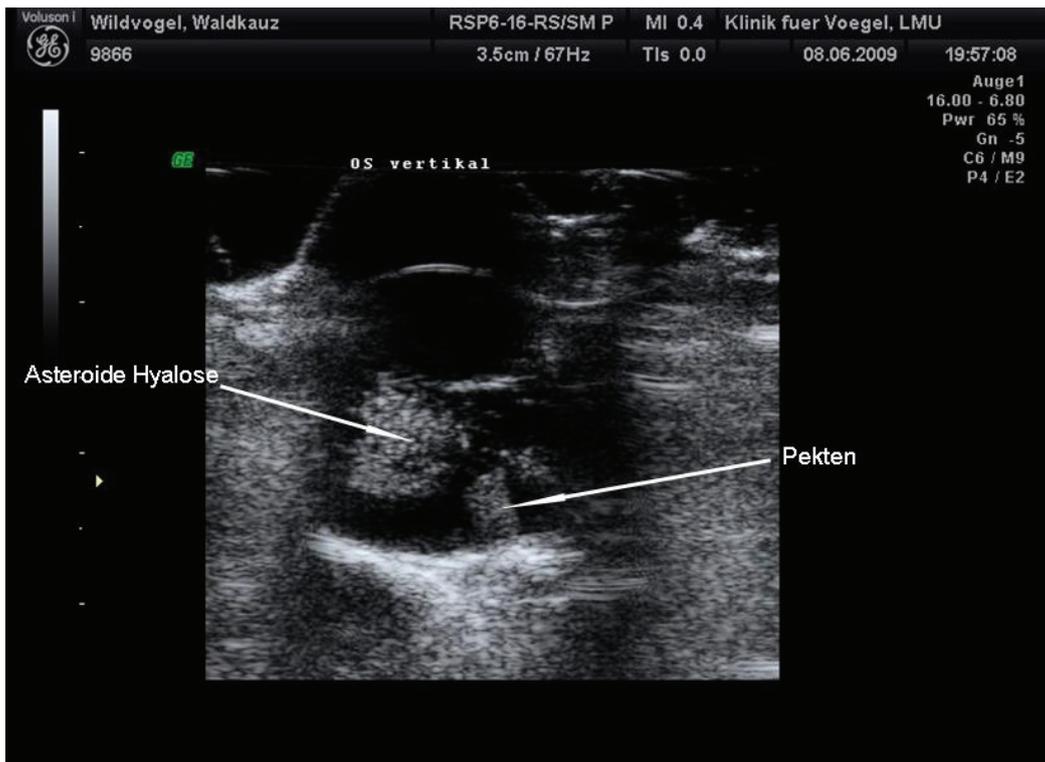


Abbildung 67: Cataracta hypermatura capsularis, Kapselruptur, asteroide Hyalose (1)⁶⁵



Abbildung 68: Cataracta hypermatura capsularis, Kapselruptur, asteroide Hyalose (2)⁶⁶

⁶⁵ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OS axial vertikal

⁶⁶ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OS dorsaler Bulbus, beachte artifizielle Subluxation der Linse, Blende 5,6, 1/125 s, f=60mm

4.2.2.7.3 Subluxation und Luxation

Luxationen oder Subluxationen der Linse traten nicht isoliert auf, sondern waren vielmehr im Zusammenhang mit weiteren schwerwiegenden Veränderungen in 0,7% der Augen (n=2) zu beobachten. So wurde ein Waldkauz mit einem hochgradig reduzierten intraokularen Druck sowie Hyphaema vorgestellt. In der sonografischen Untersuchung zeigte sich eine anechogene rundliche Struktur in dem Bereich, in dem die Linse zu suchen ist, sowie mäßig echogene bis echogene Bereiche, die sowohl die anechogene Struktur umgaben als auch in den Glaskörper reichten. Vor allem in der fotografischen Aufnahme, die nach dem Tod des Tieres angefertigt wurde, wird das Ausmaß der Veränderungen deutlich (vgl. Abbildung 69 und Abbildung 70). Darüber hinaus wurde eine Subluxation bei einem Waldkauz beobachtet, der ebenfalls unter weiteren schwerwiegenden Veränderungen litt. (s. 4.2.2.9.1)

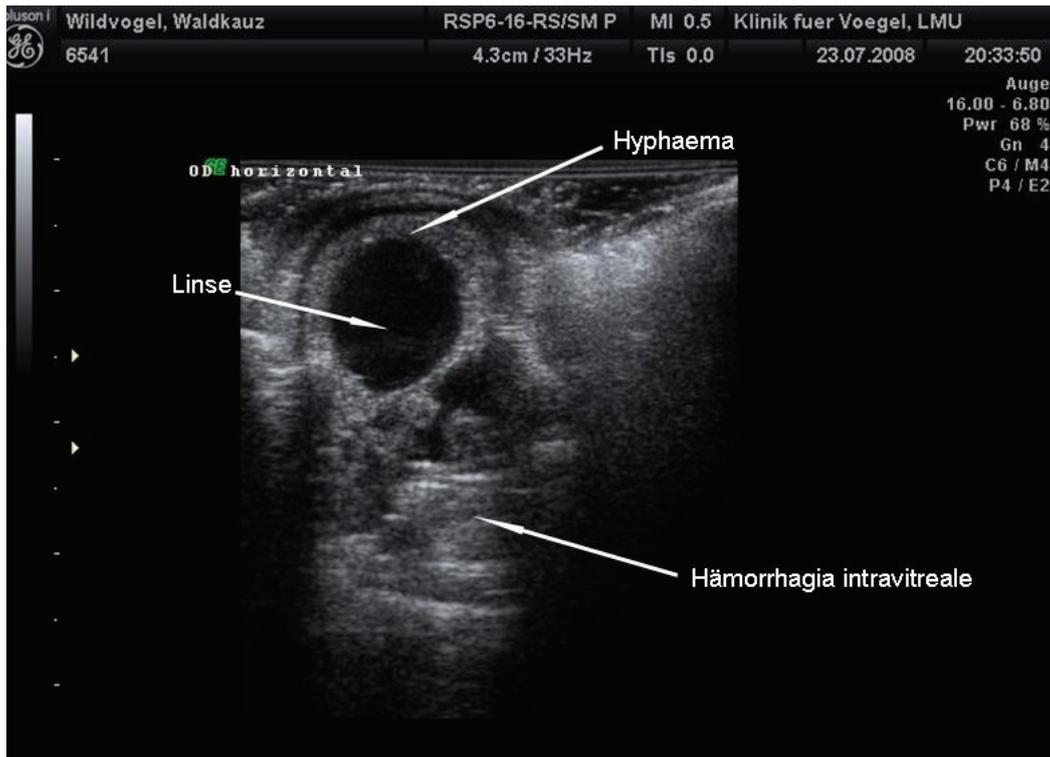


Abbildung 69: Luxatio lentis mit Bulbusuptur und Hämophthalmus (1)⁶⁷

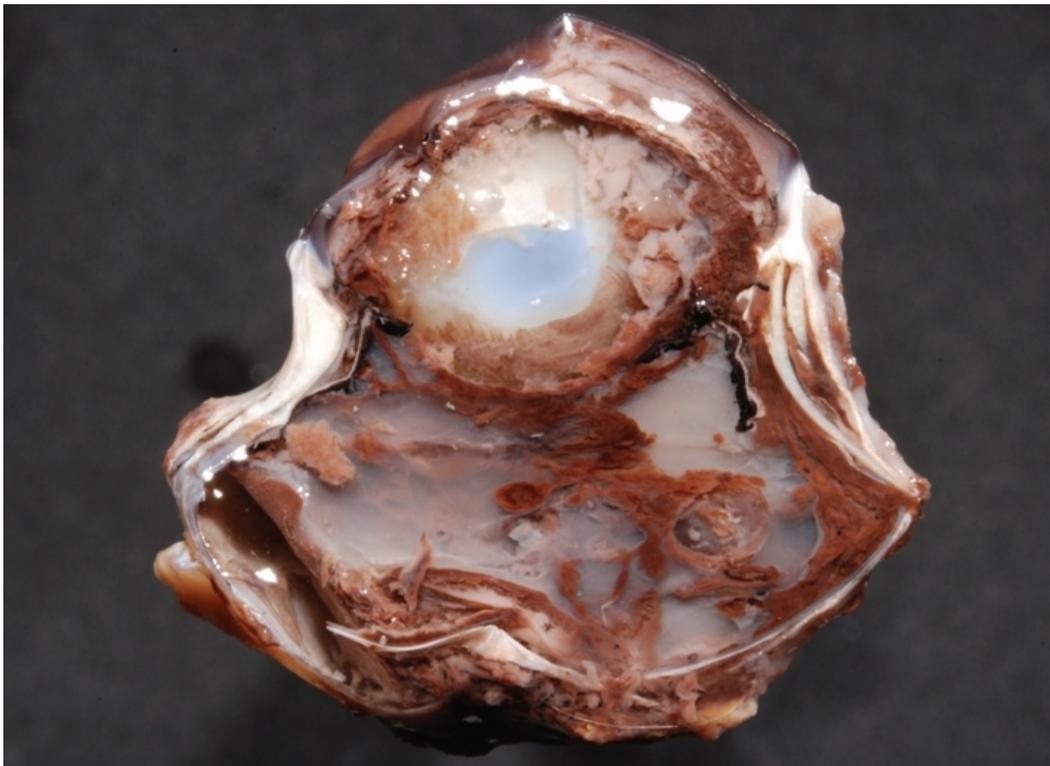


Abbildung 70: Luxatio lentis mit Bulbusuptur und Hämophthalmus (2)⁶⁸

⁶⁷ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OD axial horizontal

⁶⁸ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OD dorsaler Bulbus, Blende 40, 1/250 s, f=60mm

4.2.2.8 Corpus vitreum

Die Veränderungen, welche im Glaskörper am häufigsten auftraten waren Einblutungen sowie das entweder daraus entstehende oder im Zusammenhang mit Entzündungen auftretende Fibrin.

4.2.2.8.1 Einblutungen

Einblutungen in den Glaskörper wurden bei 11,5 % aller Augen (n=31) diagnostiziert und stellten sich in Abhängigkeit von ihrem Alter sowie dem Ausmaß der ausgetretenen Blutmenge mehr oder weniger echogenen dar. Ältere Blutkoagula oder auch sehr große Mengen an Blut, welche folglich eine erhöhte Dichte aufwiesen, zeigten sich echogen, während frisches Blut oder feinere Schlieren häufig einen eher hypoechogenen Charakter besaßen.

Ihre sonografische Darstellung wurde bereits unter 4.2.2.2 behandelt, sodass hier nicht näher darauf eingegangen werden soll.

4.2.2.8.2 Fibrin

Die Feststellungen, die bereits im Zusammenhang mit Fibrin in der vorderen Augenkammer gemacht wurden, treffen auch für den Glaskörper zu und sollen daher nicht noch einmal erläutert werden.

Auf den nächsten Seiten sind verschiedene Aufnahmen eines Mäusebussards zu sehen, welcher infolge einer starken Blutung des Augenfächers Fibrinansammlungen im Glaskörper entwickelte. Abbildung 71 zeigt die Ansicht mittels Funduskamera, während Abbildung 72 die sonografische Darstellung vermittelt. Abbildung 73 macht schließlich das gesamte Ausmaß der Schädigungen deutlich. Auffällig ist die Ablösung der Netzhaut aufgrund der Ausbildung von so genannten „Traction Bands“ (Traktionsamotio). Diese sind sowohl sonografisch als auch in der Fotografie sehr gut darstellbar.

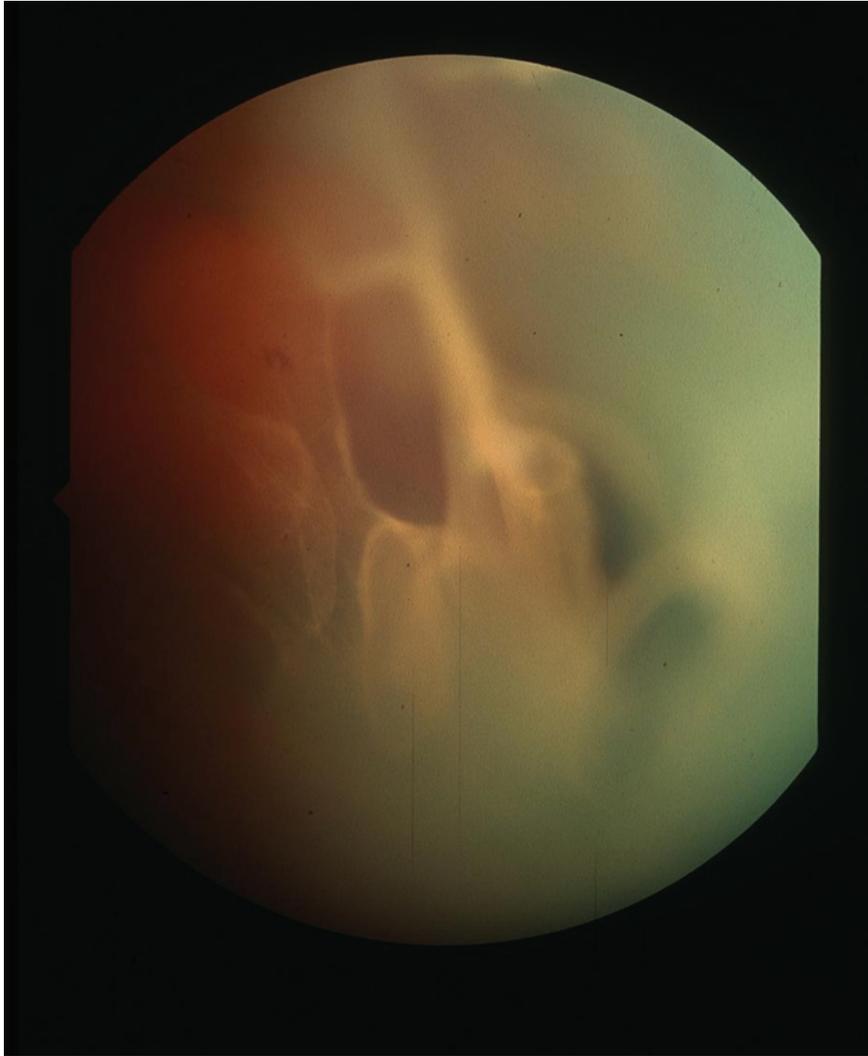


Abbildung 71: Fibrinbildung im Glaskörper infolge Hämorrhagia intravitreale⁶⁹

⁶⁹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L. 1758), OS, Funduskamera, zentraler Fundusbereich

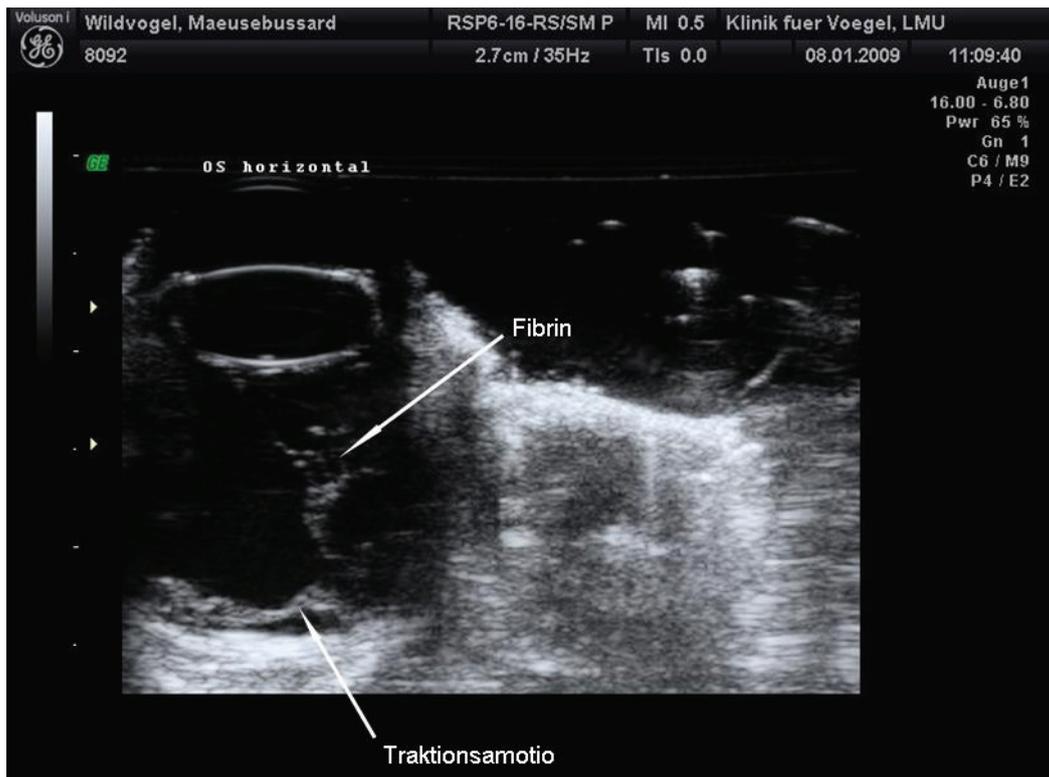


Abbildung 72: Fibrinbildung nach Hämorrhagia intravitrale mit Traktionsamotio (1)⁷⁰



Abbildung 73: Fibrinbildung nach Hämorrhagia intravitrale mit Traktionsamotio (2)⁷¹

⁷⁰ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L.1758), OS axial horizontal

⁷¹ Mäusebussard (*Buteo buteo*, L.1758), OS, ventraler Bulbus, Blende 40, 1/320 s, f=60 mm

4.2.2.8.3 Glaskörpertrübungen

Bei 2,9 % der untersuchten Augen (n=8) lagen geringgradige Trübungen des Glaskörpers vor. Sonografisch waren diese häufig nicht darstellbar, da sie entweder im Rauschen untergingen oder bei einer geringeren Gesamtverstärkung nicht dargestellt werden konnten.

4.2.2.9 Bulbus

Veränderungen, welche den gesamten Bulbus betrafen und im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit untersucht wurden, beschränkten sich auf eine Bulbusruptur bei einem Waldkauz.

4.2.2.9.1 Ruptur

Eine Bulbusruptur bei einem Waldkauz führte dazu, dass die sonografische Untersuchung des Auges massiv erschwert war. Die Strukturen, die ansonsten eine eindeutige Orientierung am Auge erlauben wie die Kornea, die beiden Linsenkapseln oder die hintere Augenhaut, waren in ihrer physiologischen Form nicht mehr vorhanden, sodass das Auge lediglich als eine rundliche an- bis hypoechogene Struktur ohne erkennbare Strukturierung zu sehen war. Die Lokalisation der Ruptur konnte im hier vorliegenden Fall sonografisch nicht dargestellt werden, wie Abbildung 74 und Abbildung 75 zeigen.

4.2.2.10 Retrobulbärraum

Es traten während der Durchführung dieser Untersuchungen keine Veränderungen des Retrobulbärraumes auf.



Abbildung 74: Bulbusruptur (1)⁷²

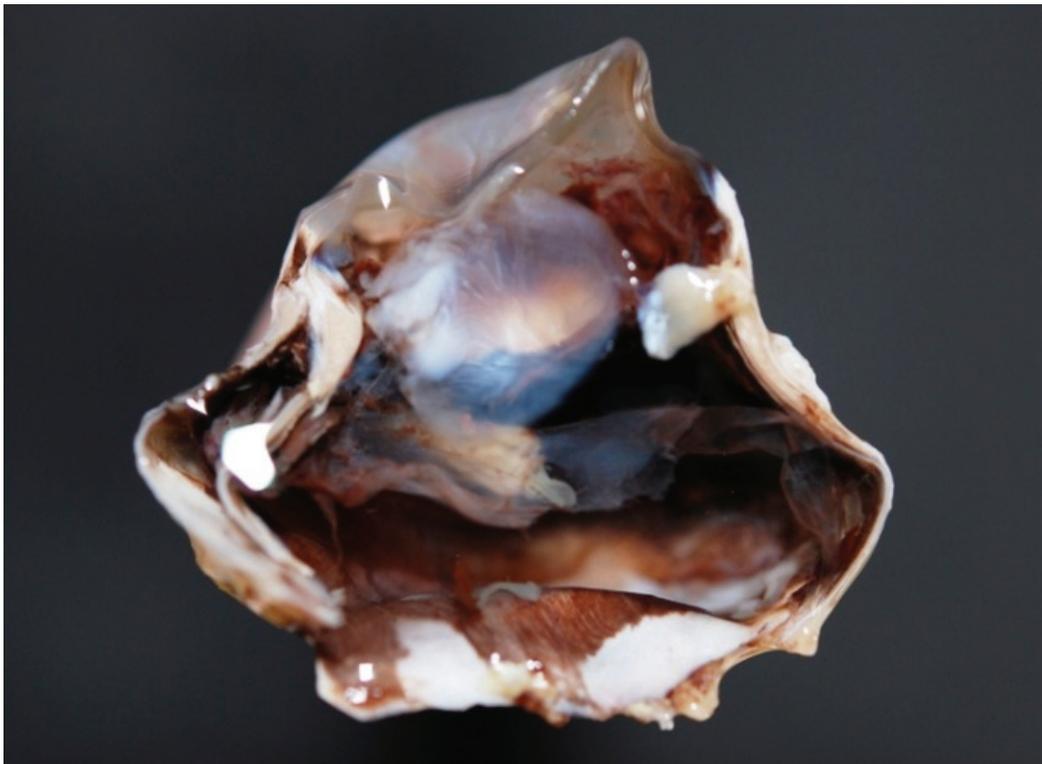


Abbildung 75: Bulbusruptur (2)⁷³

⁷² Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OS axial vertikal, beachte das vollständige Fehlen der Echos intraokularer Strukturen

⁷³ Waldkauz (*Strix aluco*, L. 1758), OS, dorsaler Bulbus, Blende 5,6, 1/125 s, 60 mm

4.2.3 Biometrie

Die erhobenen Werte der einzelnen Messparameter zeigten für fast alle Strukturen eine gute Übereinstimmung, auch wenn der Stichprobenumfang dieser Arbeit nicht ausreichend war um statistisch haltbare Referenzwerte zu ermitteln. Dies gilt in besonderem Maße für Uhus und Habichte, da im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur zwei Habichte und fünf Uhus untersucht wurden, wobei es sich bei einem der Tiere um ein Jungtier handelte, was eine Vergleichbarkeit von vornherein ausschließt.

Daher erheben die hier präsentierten Daten nicht den Anspruch als Referenzwerte angesehen zu werden, auch wenn sie – abgesehen von den bereits erwähnten Arten – einen verlässlichen Anhaltspunkt bieten sollten. Tabelle 8 bietet einen Überblick über die Mittelwerte der tagaktiven Greifvögel, Tabelle 9 über diejenigen der Eulen. Die genauen Daten einschließlich der Standardabweichungen sowie der minimalen und maximalen Werte finden sich im Anhang. Im Rahmen der statistischen Auswertung wurden rechte und linke Augen, die Werte der unterschiedlichen Untersuchungsebenen sowie bei Mäusebussarden und Sperbern ein Vergleich der Werte männlicher und weiblicher Tiere vorgenommen. Die Werte waren stets vergleichbar jedoch statistisch nicht signifikant, was auf die geringe Probandenzahl zurückgeführt wird.

Insgesamt konnte festgestellt, dass die Darstellung der transversalen Ausdehnung des Bulbus bei allen untersuchten Vogelarten aufgrund der durch den Skleralring bedingten Schallauslöschung nicht möglich war, während die Darstellung des transversalen Linsendurchmessers durch den Skleralring lediglich bei den tagaktiven Greifvögeln stark beeinträchtigt war. Darüber hinaus erscheint auch eine Aussage über die maximale Höhe des Pekten schwierig, da die Werte auch innerhalb ein- und desselben Vogels stark variierten.

Messparameter	Mäusebussard	Sperber	Habicht	Turmfalke
Kornea	0,57	0,391	0,45	0,31
ACD	3,851	2,03	3,21	2,35
Linse axial	5,02	4,11	5,35	3,85
Linse transversal	10,94	7,33	10,04	7,86
Glaskörper axial	13,44	7,35	11,35	8,53
Hint. Augenwand	1,54	1,03	1,38	1,18
Bulbus axial	24,42	14,94	21,73	16,20
Pekten	7,38	4,33	7,05	5,53

Tabelle 8: Messwerte der intraokularen Biometrie bei tagaktiven Greifvögeln in mm

Messparameter	Schleiereule	Waldohreule	Waldkauz	Steinkauz	Uhu
Kornea	0,33	0,30	0,32	0,29	0,36
ACD	2,76	3,26	5,22	3,42	7,69
Linse axial	5,70	6,17	8,21	5,53	9,46
Linse transversal	8,75	10,48	14,25	9,63	18,36
Glaskörper axial	6,86	7,75	12,30	8,28	19,33
Augenwand post.	0,98	1,24	1,75	1,15	2,41
Bulbus axial	16,64	18,74	27,78	18,67	39,07
Pekten	4,03	4,04	5,10	4,29	7,52

Tabelle 9: Messwerte der intraokularen Biometrie bei Eulenvögeln in mm

4.2.3.1 Altersbedingte Größenentwicklung des Bulbus

Die in Abbildung 76 dargestellten Daten sollen einen Eindruck über die Entwicklung des Auges juveniler Turmfalken vermitteln, welche an fünf juvenilen Turmfalken unterschiedlichen Alters erhoben wurde. Sie sollen keineswegs als Referenzwerte verstanden werden, da hierfür die Anzahl der Tiere nicht ausreichte und zudem keine Verlaufsuntersuchung möglich war.

Abbildung 77 verdeutlicht die Entwicklung des Auges bei der Schleiereule, welche anhand von fünf Schleiereulen unterschiedlichen Alters erhoben wurde, wobei drei der Tiere zweimal im Abstand von sechs Wochen untersucht wurden. Wie auch bei den Turmfalken kann diese Untersuchung aufgrund der geringen Anzahl untersuchter Tiere lediglich der ungefähren Orientierung dienen. Zum Zeitpunkt der Wiederauswilderung wiesen alle drei Eulen sowie eine vierte, die in etwa dasselbe Alter hatte, annähernd gleich große Augen auf. Ein Einflussfaktor auf die Augengröße schien das Körpergewicht – und damit möglicherweise auch das Geschlecht – zu spielen, da das leichteste Tier die geringste Augengröße besaß.

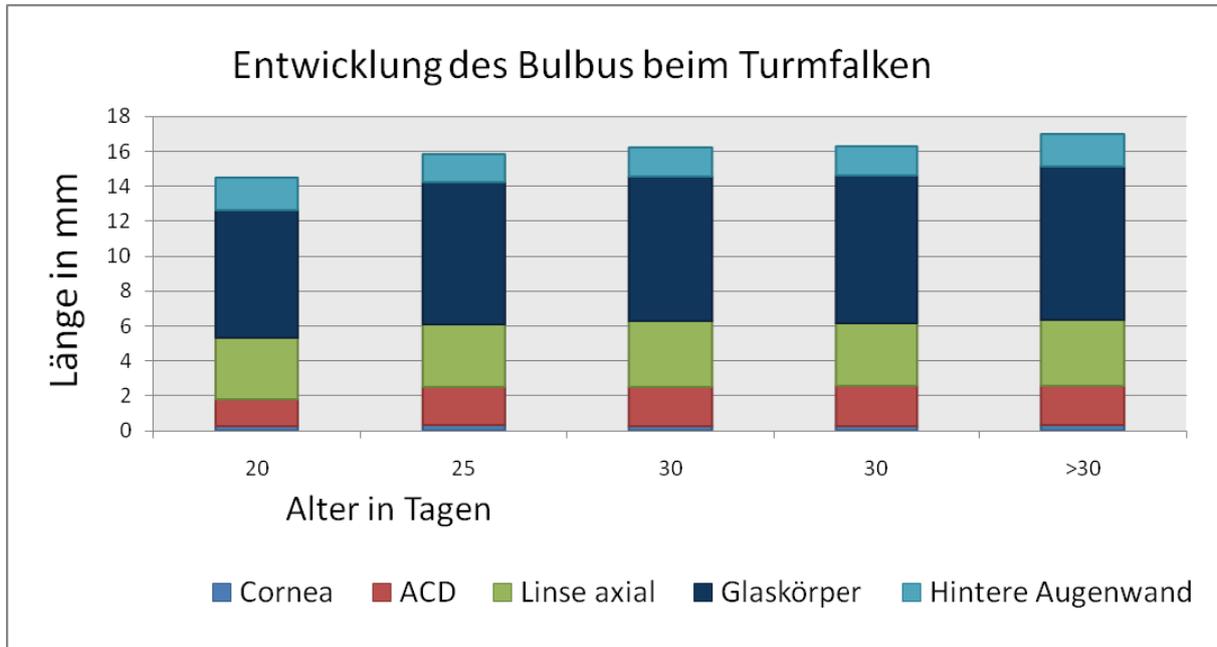


Abbildung 76: Juvenile Entwicklung des Auges beim Turmfalke

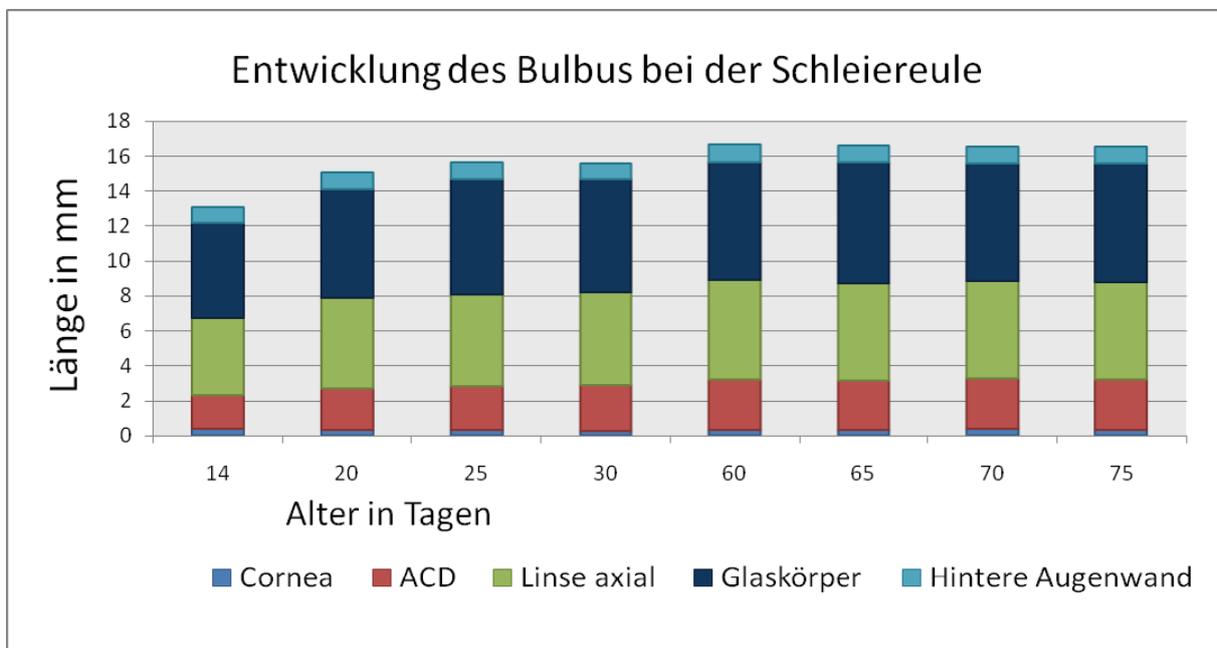


Abbildung 77: Juvenile Entwicklung des Auges bei der Schleiereule

5 Diskussion

5.1 Zur Motivation

Da eine Untersuchung zur okularen Sonografie von Wildgreifvögeln zunächst ungewöhnlich erscheinen mag, soll im folgenden kurz auf die dieser Arbeit zugrunde liegende Motivation eingegangen und die Problematik des „verletzten Wildgreifvogels“ erläutert werden.

So vielfältig die Verletzungen auch sein mögen, aufgrund derer Wildgreifvögel einem Tierarzt vorgestellt werden, so haben sie doch in der Vielzahl der Fälle eine Gemeinsamkeit: Die meisten dieser Verletzungen sind entweder direkt oder indirekt bedingt durch den Einfluss des Menschen (BECKER 2001, FIX und BARROWS 1990, WENDELL et al. 2002). Hieraus resultiert die moralische Verpflichtung dem Tier durch menschliche Hilfestellung eine Wiedereingliederung in die Wildpopulation zu ermöglichen (POLLOCK 2003).

Für eine Wiederauswilderung ist die Wildbahntauglichkeit des Vogels unbedingte Voraussetzung (KUMMERFELD et al. 2005). Zudem muss hier auch §3 des Tierschutzgesetzes (TSCHG 1972) berücksichtigt werden, wonach kein Tier in die freie Natur ausgesetzt werden darf, das nicht auf die zum Überleben in dem vorgesehenen Lebensraum erforderliche artgemäße Nahrungsaufnahme vorbereitet ist. Die körperliche Unversehrtheit und die Fähigkeit zum Nahrungserwerb müssen also in jedem Fall gegeben sein (JAKOBY und KÖSTERS 1990).

FORD et al. (2007) betonen, dass eine Wiedereingliederung in die Wildpopulation schnellstmöglich erfolgen muss, da der freigewordene Lebensraum einerseits sehr schnell durch ein anderes Individuum besetzt wird (KUMMERFELD et al. 2005) und zum anderen bereits nach nur ca. 14 Tagen in Gefangenschaft mit einem Verfall der körperlichen Fitness zu rechnen ist, was einen deutlichen Nachteil gegenüber Nahrungskonkurrenten nach sich zieht (LIERZ et al. 2005). Darüber hinaus wird menschlicher Kontakt von BECKER (2001) als die stressvollste Situation eingeschätzt, in die ein Wildgreifvogel kommen kann, sodass dieser stets so kurz wie möglich gehalten und der Vogel entweder schnellstmöglich rehabilitiert oder seinem Leiden bei infauster Prognose durch Euthanasie ein Ende gesetzt werden sollte.

Der besondere Stellenwert, den der Visus gerade für den Wildgreifvogel besitzt, ist auch bei der Entscheidungsfindung für oder gegen eine Wiederauswilderung unbedingt zu berücksichtigen. So muss die Prognose eines tagaktiven Greifvogels, bei dem eine Beeinträchtigung beider Augen vorliegt, die eine optische Orientierung nicht mehr zulässt, grundsätzlich als infaust betrachtet werden (KUMMERFELD et al. 2005), während die Rehabilitierbarkeit einseitig erblindeter Eulen kontrovers diskutiert wird (BUYUKMIHCI 1985, KRONE 2007, KUMMERFELD et al. 2005).

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Verletzungen des Auges beim wild lebenden Greifvogel nach BUYUKMIHCI (1985), KORBEL (1994) und KORBEL (2000) einerseits relativ häufig vorkommen und zum anderen einen herausragenden Einfluss auf die Prognose besitzen, ist eine frühzeitig durchgeführte und schnell zur Diagnosestellung führende Augenuntersuchung von größter Bedeutung, wobei in jedem Fall bedacht werden muss, dass okulare Veränderungen in 84,1 % der Fälle allein das hintere Augensegment betreffen und von außen nicht zu erkennen sind (KORBEL 1994). Allerdings kann eine Untersuchung des Fundus bei getrübten Medien erschwert oder unmöglich sein. In solchen Fällen, aber auch bei vielen anderen Indikationen hat sich die okulare Sonografie sowohl in der Kleintiermedizin als auch beim Pferd fest etabliert und als wertvoll erwiesen. Beim Vogel ist sie bisher jedoch nur wenig untersucht (CANTON et al. 1992, CARTER et al. 2007, DELOGU und VALENTINI 2000, GUMPENBERGER und KOLM 2006).

Eine ausführliche Untersuchung der okularen Sonografie beim Wildgreifvogel einschließlich einer genauen Beschreibung der Vorgehensweise sowie physiologischer und pathologischer aviärer Befunde und Besonderheiten, die unter Umständen zu Fehlinterpretationen führen könnten, soll es Tierärzten in Zukunft ermöglichen, schnell eine Prognose für die Rehabilitierbarkeit von Vögeln mit Augenbefunden auszusprechen und somit unverzüglich mit der am besten geeigneten Therapie beginnen zu können oder unnötiges Leiden für das Tier zu vermeiden.

5.2 Material und Methodik der sonografischen Untersuchung

Das verwendete Ultraschallgerät Voluson i in Verbindung mit der Linearsonde RIC5-9RS erlaubte eine sehr gute Darstellung des Bulbus und seiner Adnexe und führte zu qualitativ hochwertigen Bildern. Die Eindringtiefe war auch für die Darstellung des relativ großen Bulbus von Uhus vollkommen ausreichend, wobei gleichzeitig auch die Untersuchung von Steinkäuzen und Turmfalken mit ihren im Vergleich relativ kleinen Bulbi in guter Auflösung möglich war.

Lediglich zwei Punkte fielen bezüglich des Equipments auf: Dies war zum einen die relativ große Auflagefläche der Ultraschallsonde. Sie erlaubte keine Untersuchung in den anterioren transversalen und longitudinalen Schnittebenen und verhinderte die Darstellung des Ziliarkörpers in den axialen Untersuchungsebenen bei tagaktiven Greifvögeln. Darüber hinaus war die Orientierung am Auge erschwert, da die exakte Position nicht einsehbar war. Auch wäre eine feinere Abstufung der verschiedenen Frequenzen wünschenswert gewesen.

Allerdings hatte die große Auflagefläche der Sonde auch den Vorteil, die Vögel durch die vollkommene Abschirmung des Visus optisch ruhig zu stellen. Zudem waren nach einer

kurzen Eingewöhnungszeit eine sehr feine Handhabung und eine Orientierung anhand der Position des Schallkopfes und Kopfes in Zusammenhang mit der Darstellung auf dem Bildschirm zur Einschätzung der Position möglich. Lediglich die Limitierung der transversalen und longitudinalen Schnittebenen auf posterior gelegene Bereiche des Auges muss daher als Schwachpunkt festgehalten werden.

Weiterführende Arbeiten unter Verwendung anderer Ultraschallsonden – beispielsweise auch eines Konvexschallkopfes zur Umgehung des Skleralringes – sind denkbar, wobei hier GUMPENBERGER und KOLM (2006) bereits ausführliche Untersuchungen vorgenommen haben, auf die weiter unten eingegangen werden soll. Allerdings wird in der Literatur für die okulare Sonografie stets die Verwendung eines Linearschallkopfes empfohlen, sodass für zukünftige Untersuchungen auch die Verwendung eines Linearschallkopfes mit kleiner Auflagefläche in Erwägung gezogen werden sollte. Auch die Evaluierung der Ultraschallbiomikroskopie (UBM) mit noch höheren Frequenzen wäre wünschenswert. Weiterhin wäre es für die Zukunft denkbar, das Potential der verwendeten Ultraschallsonde voll auszuschöpfen und Untersuchungen zur dreidimensionalen Sonografie des Vogelauges durchzuführen.

Das Kornea-Kontaktverfahren wird in der Literatur (DZIEZYC et al. 1987) als das am besten geeignete Verfahren für die Untersuchung des Glaskörpers, des Fundus sowie des retrobulbären Raumes beschrieben. Für die Untersuchung der anterior gelegenen okularen Strukturen ist hingegen die Verwendung einer Vorlaufstrecke erforderlich (BYRNE und GREEN 2002, DZIEZYC et al. 1987). Die Form des Schallkopfes erlaubte es, im Rahmen dieser Arbeit eine ausreichend große Menge an Ultraschallgel als Vorlaufstrecke zu verwenden, was auch WILLIAMS et al. 1995 als geeignetes Verfahren beschreibt.

Die transpalpebrale Methode führt nach DIETRICH (2006) und BYRNE und GREEN (2002) zu einer schlechteren Darstellung, was sich auch in dieser Arbeit sowohl für tagaktive Greifvögel als auch für Eulenvögel bestätigte. Vor allem das Vorhandensein des knorpeligen Tarsus palpebralis wirkte sich negativ auf die sonografischen Bilder aus und führte darüber hinaus zur Entstehung von Artefakten. Daher muss das Kornea-Kontaktverfahren als die Methode der Wahl beim Greifvogel angesehen werden.

In der Humanmedizin wird empfohlen die Linse bei der Untersuchung posterior gelegener Strukturen zu umgehen um die Entstehung von Artefakten zu vermeiden (BAUM 1965, BYRNE und GREEN 2002). Beim Vogel ist dies jedoch aufgrund des knöchernen Skleralringes nur sehr eingeschränkt möglich, was allerdings im Rahmen dieser Arbeit nicht negativ auffiel.

Die Fixationstechnik und die Untersuchungsmethodik selbst bewährten sich abgesehen von der Untersuchung adulter Uhus während des gesamten Verlaufes der Arbeit. Eine Sedation war wie auch bei DELOGU und VALENTINI (2000) und GUMPENBERGER und KOLM

(2006) nicht nötig. Ein großer Vorteil der hier angewandten Vorgehensweise ist der geringe personelle Aufwand. Darüber hinaus erlaubte der enge Kontakt eine genaue Einschätzung der Position des Vogels, dessen Allgemeinzustandes sowie eine rechtzeitige Reaktion auf mögliche Abwehrbewegungen. Gerade letzteres ist für die Sicherheit der Ultraschallsonde von großer Bedeutung, da es im Zusammenhang mit Abwehrreaktionen auch zu Schäden der Ultraschallsonde kommen könnte. Hier sind besonders Falken als Bisstöter mit Vorsicht zu behandeln.

5.3 Die sonografische Untersuchung

5.3.1 Untersuchungsdauer

Für die Untersuchung bei Eulenvögeln im B-Mode geben DELOGU und VALENTINI (2000) eine Dauer von ca. 5 Minuten an, während für die Untersuchung tagaktiver Greifvögel überhaupt keine Erfahrungswerte beschrieben sind. In dieser Arbeit dauerte die Untersuchung im B-Mode durchschnittlich 9 Minuten und 41 Sekunden, wobei die Untersuchungsdauer beim Steinkauz ca. 5,5 Minuten, beim Habicht jedoch ca. 15 Minuten betrug.

Diese Variabilität lässt sich zum einen durch die vogelartigen anatomischen Unterschiede erklären, zum anderen liegt sie darin begründet, dass Mäusebussarde und Habichte häufig aufgrund eines Anflugtraumas in der Klinik vorgestellt wurden und demzufolge oftmals schwerwiegende intraokulare Verletzungen aufwiesen, welche eine ausführlichere Untersuchung erforderten.

Die Diskrepanz der Untersuchungsdauer zwischen axialer vertikaler und horizontaler Ebene ist damit zu erklären, dass die Untersuchung jeweils in der axialen vertikalen Ebene begonnen wurde und in dieser Ebene somit die für das Auge erforderlichen grundsätzlichen individuellen Anpassungen der Einstellungen vorgenommen werden mussten, während in der horizontalen Ebene dann lediglich kleinere Korrekturen erforderlich waren. Bei den Eulenvögeln wurde in der vertikalen Ebene darüber hinaus das periorbitale Gefieder durch das Gel durchnässt und zur Seite gelegt, sodass es in der horizontalen Ebene nicht mehr störend wirkte.

5.3.2 Verträglichkeit

Bisher existieren in der Literatur keine Angaben zur Verträglichkeit der sonografischen Untersuchung beim Wildgreifvogel. Insgesamt wurden die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen von den Vögeln sehr gut vertragen. Lediglich bei vier Tieren musste die Untersuchung aufgrund von starkem Stress abgebrochen werden. Keiner der untersuchten Vögel zeigte eine längerfristige Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens oder körperli-

che Auffälligkeiten. Um eine objektive Einschätzung der Belastung für das Tier vornehmen zu können, wäre eine Messung von Stressparametern und des Blutdruckes von Vorteil gewesen, allerdings existiert derzeit kein nicht invasives Verfahren zur zuverlässigen Blutdruckmessung beim Vogel.

Wie von der STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (1998) empfohlen, wurde die Untersuchung juveniler Tiere so kurz wie möglich gehalten, da diese empfindlicher gegenüber Wärmeentwicklung sind als adulte Individuen. Die Untersuchung wurde jedoch von allen juvenilen Tieren sehr gut vertragen.

Das Verkleben des periokularen Gefieders durch das Ultraschallgel trotz einer nach der sonografischen Untersuchung durchgeführten Reinigung ist als nachteiliger Effekt festzuhalten. Er war bei den Eulenvögeln aufgrund der längeren Federn sowie der typischen Kopfform stärker ausgeprägt als bei tagaktiven Greifvögeln. Innerhalb von zwei bis drei Tagen waren jedoch alle Gelreste verschwunden.

5.3.3 Die B-Mode-Untersuchung

5.3.3.1 Darstellung und Darstellbarkeit physiologischer Strukturen

Die Darstellung der physiologischen intraokularen Strukturen stimmt grundsätzlich mit der von GUMPENBERGER und KOLM (2006), HOFFMANN und KÖSTLIN (2004), POTTER et al. (2008), ROGERS et al. (1986) und – soweit von diesen erwähnt – DELOGU und VALENTINI (2000) überein, daher soll an dieser Stelle lediglich auf die hiervon abweichenden Feststellungen eingegangen werden.

Die von GUMPENBERGER und KOLM (2006) beschriebene hyperechogene durch den Skleralring verursachte Struktur wurde in den hier durchgeführten Untersuchungen nicht festgestellt, wenngleich der durch den Skleralring verursachte Schallschatten deutlich erkennbar war.

Der Ziliarkörper konnte bei tagaktiven Greifvögeln in der axialen vertikalen bzw. horizontalen Ebene nicht immer zuverlässig dargestellt werden. Wurde die transversale bzw. longitudinale Untersuchungsebene gewählt, so war eine Darstellung möglich. In der Regel zeigte er sich in diesen Ebenen ebenfalls mäßig echogen, wie von GUMPENBERGER und KOLM (2006) beschrieben. Allerdings wies er zuweilen auch eine starke Echogenität auf und war von leicht körniger Textur, während ihn HOFFMANN und KÖSTLIN (2004) als niedrig reflektive homogene Struktur beschreiben.

Die hier beobachteten punkt- bzw. linienförmigen Strukturen in der Linse, die bei augengesunden Mäusebussarden bzw. Stein- und teilweise auch Waldkäuzen auftraten, werden als physiologisch eingeschätzt, auch wenn sie in der Literatur bisher nicht beschrieben sind.

Vermutlich handelt es sich hierbei um Artefakte, die vor der stark reflektierenden hinteren Linsenkapsel auftreten.

Auch die sich im Glaskörper befindlichen Strukturen, die bei 48,6 % der gesunden Augen von Mäusebussarden (n=34) sowie bei 15,7 % der augengesunden Turmfalken (n=11) dargestellt werden konnten, sind nicht als pathologisch zu deuten, sondern repräsentieren die von RAVELHOFER (1996) beschriebenen Glaskörperfibrillen, welche die Brücke des Pekten mit der Linse verbinden.

Bei der relativ dünnen echogenen wellenförmigen Linie, die sich von der hinteren Augenhaut ca. 0,2 - 0,3 mm in den Glaskörper erhob, sowie die unmittelbar posterior der hinteren Linsenkapsel darstellbare Linie, handelt es sich vermutlich um Glaskörpermembranen. Diese sind beim Vogel bisher sonografisch nicht beschrieben, doch stimmt die hier beobachtete Darstellung mit derjenigen für den Menschen überein (GUTHOFF et al. 1999). Diese geben an, dass eine Darstellung im gesunden menschlichen Auge nur selten möglich ist. Dennoch waren diejenigen Vögel, bei denen diese Struktur sonografisch dargestellt werden konnte, in der ophthalmologischen Untersuchung ohne besonderen Befund, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Darstellung einer Glaskörpermembran bei vielen tagaktiven Greifvögeln auch bei augengesunden Tieren in der Mehrzahl der Fälle möglich ist.

Der Augenfächer zeigte sich mäßig echogen, wie von GUMPENBERGER und KOLM (2006) vermerkt, allerdings konnte der von ihm verursachte Schallschatten nicht immer beobachtet werden. Möglicherweise handelt es sich dabei um den sich hypoechogen darstellenden Sehnerv. Während GUMPENBERGER und KOLM (2006) ihn lediglich bei manchen Probanden darstellen konnten, war dies im Rahmen dieser Arbeit bei 69,4 % der Augen (n=193) möglich.

Eine Abgrenzung der hinteren Augenhaut zum retrobulbären Gewebe ist – anders als GUMPENBERGER und KOLM (2006) für den Vogel und GUTHOFF et al. (1999) für den Menschen beschreiben – auch beim Turmfalken durchaus möglich, da der Tenonsche Raum sich bei allen Vögeln bis auf wenige individuelle Ausnahmen sehr gut darstellte.

5.3.3.2 Darstellung und Darstellbarkeit pathologischer Veränderungen

Kornea

Bei einer Schleiereule sowie bei einem Turmfalken wurde in der ophthalmologischen Untersuchung eine geringgradige Keratitis diagnostiziert, was jedoch nicht zu Abweichungen in der sonografischen Untersuchung führte. In der Literatur findet sich keine Aussage über die Darstellung einer Keratitis bzw. eines Korneaödems beim Vogel. Nach GEVELHOFF (1996) führt jedoch sowohl eine Keratitis als auch ein Hornhautödem zu einer mittels B-Mode fest-

stellbaren Zunahme des Korneadurchmessers beim Pferd. GUTHOFF und GUTHOFF (1987) konnten dies mittels A-Mode beim Korneaödem des Menschen nachweisen. Allerdings kann nach HEIDER (1998) auch bei Vorliegen eines Hornhautödems die sonografische Untersuchung der Hornhaut unauffällig sein. Nach Meinung dieses Autors ist die Sonografie daher für die Untersuchung der Hornhaut von untergeordneter Bedeutung.

Vordere Augenkammer und Iris

Eine frische Einblutung in die vordere Augenkammer konnte im Rahmen dieser Arbeit sonografisch als hypoechogener Bereich dargestellt werden, während dies bei GEVELHOFF (1996) nicht möglich war. Ältere Blutungen stellten sich analog den Angaben in der Literatur als mäßig echogene Strukturen dar, wie für das Pferd (GEVELHOFF 1996), das Kleintier (DZIEZYC et al. 1987) und auch den Menschen (COLEMAN et al. 1973) beschrieben wird. Möglicherweise ist die Darstellung von frischen Hämorrhagien beim Vogel im Vergleich zum Säuger leichter, da bei der Klasse Aves die Erythrozyten deutlich größer und kernhaltig sind (STURKIE und GRIMINGER 1986). Eine gezielte Fokussierung ist in jedem Fall erforderlich, aber allein häufig nicht ausreichend. Der Versuch, diese Veränderungen durch Anpassung von Gain, TGC oder Dynamik darzustellen gelingt oft nicht, da die Veränderung dann nur schwer vom Rauschen der Umgebung abgegrenzt werden kann.

Die Darstellung von Fibrin entsprach prinzipiell derjenigen, die von GUMPENBERGER und KOLM (2006) für den Vogel und von GEVELHOFF (1996) für das Pferd angegeben wird. Allerdings führten feine Fibrinschleier nicht zu einer hyperechogenen, sondern lediglich zu einer mäßig echogenen Darstellung.

Die Darstellung einer hinteren Synechie stimmt mit der Beschreibung von GEVELHOFF (1996) überein.

Uvea

Uveitiden, die sich in einer Trübung des Glaskörpers äußerten, konnten sonografisch dargestellt werden. Dabei zeigte sich der Glaskörper hypo- bis mäßig echogen, wie auch von GEVELHOFF (1996) beschrieben wird. In der ophthalmologischen sowie postmortalen Untersuchung waren die Trübungen jedoch deutlich dramatischer, als es die Sonografie vermuten ließ.

In vivo konnten keine pathologischen Zustände der Choroidea beobachtet werden. Lediglich im Zuge der Fixierung kam es bei Augen, deren vordere Augenkammer nicht aufgefüllt worden war, zu einer Ablösung der Choroidea, welche sich sonografisch als zwei parallel zueinander laufende hyperechogene Linien mit einem dazwischen liegenden anechogenen Spalt darstellt. Beschreibungen hierzu existieren in der Literatur für den Vogel nicht. Beim Menschen zeigen sie sich als dicke, kuppelförmige Membran (BYRNE und GREEN 2002) und

sind nach GUTHOFF et al. (1999) dadurch gekennzeichnet, dass sie sich zum einen in die Ziliarkörperregion fortsetzen und zum anderen nicht im Bereich der Papille inserieren.

Retina

Das Vorhandensein einer Chorioretinitis ließ sich sonografisch nicht darstellen. Eine diffuse oder auch fokale Zunahme des Durchmessers der hinteren Augenhaut oder eine Veränderung in deren Echogenität, wie sie von BYRNE und GREEN (2002) für den Menschen beschrieben wird, konnte für den Vogel nicht nachvollzogen werden.

Allerdings gelang es, eine durch Flüssigkeit (Ödem oder Blutung) bedingte Abhebung der Netzhaut infolge eines Traumas sonografisch darzustellen: Die hintere Augenhaut zeigte hierbei eine deutlich Zunahme ihres Durchmessers, wie es auch beim Menschen zu finden ist (BYRNE und GREEN 2002). Bei dem betroffenen Waldkauz kam es darüber hinaus zu einer verminderten Abgrenzbarkeit von Glaskörper und Netzhaut. Der unterhalb der Netzhaut gelegene Bereich zeigte sich hypoechogen, wie es auch von GUTHOFF et al. (1999) beim Menschen beschrieben ist.

Die Darstellung von Netzhautablösungen gestaltete sich in vielen Fällen schwierig. Allerdings war in der ophthalmologischen Untersuchung in keinem Fall eine totale Ablation diagnostiziert worden. Jedoch wiesen drei Vögel eine partielle Ablösung auf. Diese war in zwei Fällen sonografisch nicht eindeutig darstellbar sondern ließen sich lediglich erahnen. Nur bei einem Waldkauz mit partieller Ablösung parallel zum Augenfächer konnte die von DELOGU und VALENTINI (2000) beim Vogel beobachteten halbmondförmigen in den Glaskörper ragenden Linien beobachtet werden. Allerdings zeigte sich diese anders als beim Mensch (BYRNE und GREEN 2002, GUTHOFF et al. 1999), beim Kleintier (WILLIAMS et al. 1995) oder Pferd (GEVELHOFF 1996) nicht stark bis hyperechogen, sondern wies lediglich eine mäßige Echogenität auf, was auch von GUMPENBERGER und KOLM (2006) beschrieben wird. Da keine totale Ablösung auftrat, konnte die von BYRNE und GREEN (2002), WILLIAMS et al. (1995), GEVELHOFF (1996), GUMPENBERGER und KOLM (2006) in der Literatur beschriebene typische flügel- oder V-förmige stark echogene Linie nicht nachvollzogen werden. GUMPENBERGER und KOLM (2006) beschreiben darüber hinaus einen Fall, bei dem zwar eine Netzhautablösung vermutet, jedoch nicht sonografisch dargestellt werden konnte. Es kann somit angenommen werden, dass der Darstellung einer Ablatio retinae beim Vogel mittels Sonografie Grenzen gesetzt sind. Darüber ist eine Verwechslung von Netzhautablösungen mit den physiologischen Glaskörpermembranen möglich, da sie zum einen eine ähnliche Echogenität besitzen und zum anderen eine Verifizierung über das Auftreten von Nachschwingungen, wie es beim Menschen praktiziert wird (GUTHOFF et al. 1999, BYRNE und GREEN 2002), aufgrund mangelnder Mitwirkung des Tieres nicht umsetzbar ist.

Aus Tierschutzgründen wurde darauf verzichtet, die Entwicklung der Ablösung zu verfolgen, da die betroffenen Tiere alle ein stark reduziertes Allgemeinbefinden aufwiesen, sodass die von ZAKOV et al. (1983), COLEMAN et al. (1973) und COLEMAN und JACK (1973) beschriebenen Kriterien für die Einschätzung des Alters der Ablösung nicht für den Vogel bestätigt werden können.

Linse

Diejenigen Tiere, bei denen in der ophthalmologischen Untersuchung eine Katarakt diagnostiziert wurde, wiesen in der sonografischen Untersuchung eine Verdickung und Aufrauhung der Kapsel sowie eine erhöhte Echogenität des subkapsulären Bereiches auf. Bei einem Mäusebussard kam es zudem zu einer echogenen Veränderung des Linsenstromas. Es existieren in der Literatur nur wenige Beschreibungen über die Darstellung kataraktös veränderter Linsen beim Vogel. GUMPENBERGER und KOLM (2006) beschreiben eine hochgradige bilaterale Katarakt bei einer Waldohreule, was in der sonografischen Untersuchung zu einer erhöhten Echogenität, einer verdickten Linsenkapsel sowie zu Partikeln in der Cortex führte. Darüber hinaus stellten DELOGU und VALENTINI (2000) bei einem Waldkauz eine erhöhte Echogenität des Linsenstromas fest. Sie bezeichnen kapsuläre Veränderungen im Sinne einer verminderten Abgrenzbarkeit sowie einer Zunahme der Echogenität im Bereich der Linsenkapsel als typischen Befund für eine Katarakt. Beim Kleintier (DZIEZYC et al. 1987, BARR 1992) und beim Menschen (COLEMAN et al. 1973) kommt es bei kataraktös veränderten Linsen ebenfalls zu einer verminderten Abgrenzbarkeit der Linsenkapsel, sowie zu einer Zunahme der Echogenität des Linsenstromas.

Wie bereits von BUYUKMIHCI (1985) und MURPHY (1984) beschrieben, wurden Dislokationen der Linse, welche bei zwei Waldkäuzen auftraten, nicht isoliert beobachtet. Sie wurden vielmehr von weiteren hochgradigen Veränderungen begleitet. Die Dislokation war somit nicht auf den ersten Blick als solche erkennbar, da die für die Orientierung erforderlichen Strukturen ebenfalls verändert waren. Allerdings konnten GUMPENBERGER und KOLM (2006) und DELOGU und VALENTINI (2000) in ihren Arbeiten isoliert luxierte Linsen sonografisch darstellen, wobei eine hyperechogene Linie im Glaskörper festgestellt wurde. Dies entspricht der in der Literatur für den Säuger (DZIEZYC et al. 1987, WILLIAMS et al. 1995) sowie den Menschen COLEMAN et al. (1973), GUTHOFF und GUTHOFF (1987) beschriebenen Darstellung. Bei einem alten Waldkauz wurde eine subtile Subluxation der Linse anhand einer Zunahme der Tiefe der vorderen Augenkammer diagnostiziert.

Glaskörper und Pecten

Die sonografische Darstellung von Glaskörpertrübungen weicht beim Menschen im Allgemeinen deutlich von der ophthalmoskopisch festgestellten Ausprägung ab (MCLEOD et al. 1977, GEVELHOFF 1996). BYRNE und GREEN (2002), DIETRICH (1996) und

GEVELHOFF (1996) beschreiben jedoch für das menschliche und das Säugerauge, dass Entzündungsprodukte und Trübungen des Glaskörpers als multiple echogene Partikel mittels Sonografie darstellbar sind. Es finden sich bis dato keine Beschreibungen der Verhältnisse beim Vogel. Im Rahmen dieser Arbeit war es trotz hoher Gesamtverstärkung, wie von BRONSON (1974) zur Darstellung von Glaskörperveränderungen empfohlen wird, nicht möglich, diffuse Trübungen des Glaskörpers sonografisch darzustellen, während dies bei lokalisierten Fibrinansammlungen gelang. Allerdings waren die mittels ophthalmologischer Untersuchung festgestellten Trübungen in allen Fällen als geringgradig einzustufen. Dies führte zu einer Auslöschung der Signale in der sonografischen Darstellung, bzw. bei einer hohen Gesamtverstärkung zu deren Überdeckung durch das Rauschen. Dieses Phänomen wird auch von WILLIAMS et al. (1995) beschrieben.

Die sonografische Darstellung von Einblutungen und Fibrin entsprach den Angaben von GUMPENBERGER und KOLM (2006) und DELOGU und VALENTINI (2000). Zudem konnte am Beispiel eines Mäusebussards die von GEVELHOFF (1996) beschriebene Feststellung bestätigt werden, dass die fortschreitende Koagulation und Organisation einer Blutung mit einer zunehmenden Echogenität einhergeht. Die in der Humanophthalmologie vorgenommene Einteilung der Lokalisation von Glaskörperblutungen (COLEMAN et al. 1973, BRONSON 1974, MCLEOD et al. 1977) ist für die okuläre Sonografie des Vogels nicht von Bedeutung, da sich Blutungen aufgrund des vom Menschen abweichenden anatomischen Aufbaus und der vergleichsweise dünnflüssigen Konsistenz des Glaskörpers in der Regel im gesamten Glaskörper verteilen. 87,1 % (n=27) der Einblutungen, welche im Rahmen dieser Arbeit diagnostiziert wurde, befanden sich in der unmittelbaren Umgebung des Augenfächers oder wiesen eine Verbindung zu diesem auf.

Die bei einem Waldkauz diagnostizierte asteroide Hyalose zeigte sich in der sonografischen Untersuchung analog zu derjenigen beim Menschen (BYRNE und GREEN 2002) und beim Kleintier (WILLIAMS et al. 1995).

In der Literatur finden sich kaum Angaben zur sonografischen Darstellung von Veränderungen des Augenfächers. Zwar konnten GUMPENBERGER und KOLM (2006) eine Verkürzung sowie eine leicht erhöhte Echogenität des Pektens bei zwei Eulen dokumentieren, allerdings gehen sie nicht auf das zugrunde liegende Krankheitsbild ein. Die sonografische Darstellung von Zusammenhangstrennungen ist ebenfalls nicht beschrieben. Da der Augenfächer nur bei Vögeln vorkommt, ist es darüber hinaus nicht möglich auf humanmedizinische Erfahrungen oder solche aus der Säugermedizin zurückzugreifen, sodass für eine weitere Diskussion der im Rahmen dieser Arbeit gesammelten Befunde die Durchführung weiterer Arbeiten erforderlich ist.

5.3.3.3 Biometrie

In einer vergleichenden Untersuchung zum Einsatz von A- und B-Mode in der okularen Biometrie bezeichnen HAMIDZADA und OSUOBENI (1999) den A-Mode als dem B-Mode überlegen, während ROGERS et al. (1986) zu dem Schluss kommen, dass der B-Mode dem A-Mode nicht unterlegen ist. COTRILL et al. (1989) halten den B-Mode sogar für das in der Veterinärmedizin besser geeignete Verfahren. Sie begründen dies damit, dass durch eine mangelnde Kooperation der Tiere nicht garantiert werden kann, dass die Schallwellen die einzelnen Strukturen im korrekten Winkel treffen, wodurch die Aussagekraft beeinträchtigt wird (GEVELHOFF 1996). Zum anderen empfehlen EL-MAGHRABY et al. (1995) den B-Mode, da dieser in der Veterinärmedizin ohnehin weit verbreitet und der Tierarzt somit in der Durchführung dieses Verfahrens geübt ist. Weiterhin muss bedacht werden, dass der A-Mode bei Vorkommen von fremdem Inhalt im Auge aufgrund der Vielzahl an Signalen häufig nicht ausgewertet werden kann (HAMIDZADA und OSUOBENI 1999). Beim Wildgreifvogel sind traumatisch bedingte intraokulare Blutungen relativ häufig, sodass hier der A-Mode möglicherweise rasch an seine Grenzen stoßen würde. Daher wurden die biometrischen Messungen der intraokularen Parameter im B-Mode durchgeführt um vergleichbare Referenzwerte zu bestimmen. In Erwägung zu ziehen wäre jedoch, in zukünftigen Arbeiten eine Kombination aus A- und B-Mode beim Vogel zu untersuchen.

Biometrische Messungen am Vogelauge wurden bereits von GUMPENBERGER und KOLM (2006) durchgeführt. Allerdings plädieren BOROFFKA et al. (2006) dafür, dass derartige Messungen im Rahmen verschiedener Untersuchungsreihen durchgeführt werden sollten um verlässliche Referenzwerte zu erhalten.

Nach GUMPENBERGER und KOLM (2006) ist der transversale Durchmesser des Bulbus aufgrund von Auslöschungen durch den Skleralring nicht messbar, was in dieser Arbeit bestätigt werden konnte. Zudem war die Darstellung des transversalen Linsendurchmessers bei tagaktiven Greifvögeln in den axialen Schnittebenen nicht in allen Fällen eindeutig möglich und damit reproduzierbar, sodass die Werte hierfür lediglich als Anlehnungspunkte verstanden werden sollten. Als Ursache für die häufig mangelhafte Darstellung wird ebenfalls der Skleralring angenommen, welcher durch die breite Auflagefläche der Ultraschallsonde nicht umgangen werden konnte ohne die Untersuchungsebene zu wechseln.

Die in der biometrischen Messung bestimmten Werte für intraokulare Strukturen weichen teilweise erheblich von den von GUMPENBERGER und KOLM (2006) ermittelten Längen ab. Dabei fällt auf, dass die Abweichungen bei den anterior gelegenen Strukturen Kornea, vordere Augenkammer sowie axialer und transversaler Durchmesser der Linse bei GUMPENBERGER und KOLM (2006) mit durchschnittlich 12,5 % deutlich gravierender ausfallen als die Werte für den posterior gelegenen Glaskörper sowie den axialen Durch-

messers des Bulbus, welche durchschnittlich 5,1 % betragen. Besonders bemerkenswert ist, dass der Durchmesser der Kornea bei GUMPENBERGER und KOLM (2006) im Mittel um 87,6 % höher liegt als in der hier vorliegenden Arbeit.

Bei allen Vogelarten war dabei der Durchmesser der Kornea, der Linse in der axialen und transversalen Ausdehnung sowie die Höhe des Augenfächers mit Ausnahme des Waldkauzes geringer, derjenige der vorderen Augenkammer, des Glaskörpers sowie des Bulbus in der axialen Ausdehnung jedoch größer als bei GUMPENBERGER und KOLM (2006).

Eine mögliche Ursache hierfür ist vermutlich in der Verwendung unterschiedlicher Schallköpfe zu suchen. So verwendeten GUMPENBERGER und KOLM (2006) einen Konvexschallkopf mit einer Frequenz von ca. 5 - 8 MHz, während im Rahmen dieser Arbeit ein Linear-schallkopf zum Einsatz kam und die Untersuchungen bei einer Frequenz von ca. 17 MHz durchgeführt wurden. Zwar ist die Auflösung im Nahfeld bei allen Transducerformen vermindert (BAUM 1967, BYRNE und GREEN 2002, DZIEZYC et al. 1987), allerdings besitzt eine Linearsonde im Vergleich zu einem Konvexschallkopf eine bessere Auflösung im Nahfeld, während die höhere Frequenz gleichzeitig eine schärfere Darstellung erlaubt (POULSEN NAUTRUP 1998). Die in dieser Arbeit erhobenen Messwerte können somit als relativ verlässlich angesehen werden. Aufgrund der relativ geringen Anzahl an Individuen, die sowohl im Rahmen dieser Studie als auch bei GUMPENBERGER und KOLM (2006) untersucht wurde, sind jedoch weitere biometrische Messungen wünschenswert, um durch Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Studien möglichst aussagekräftige Werte zu erhalten.

5.4 Die postklinische Untersuchung

5.4.1 Material und Methodik

Die Auswahl der Materialien für die postklinische Untersuchung und Dokumentation orientierte sich an derjenigen, die von RAVELHOFER (1996), COLLIER (1993) und VETTER (1992) beschrieben wird. Diese zeigten sich für die gewünschten Ergebnisse als geeignet. Auch die von ELLIOT und ELLIOT (1916), BENGEL (1984), BENGEL (1994) und KORBEL (1990 a) empfohlene Vorgehensweise für die fotografischen Aufnahmen lieferten Bilder von hoher Qualität.

Anders als bei RAVELHOFER (1996) erfolgte die Schnitfführung bei der Kalottierung der Bulbi am rechten und linken Auge auf unterschiedliche Weise. Dadurch konnte der Augenfächer im linken Auge in seiner gesamten longitudinalen Ausdehnung eingesehen werden, was eine verbesserte Dokumentation der Lokalisation von Blutungen erlaubte, die direkt vom Pecten oculi ausgingen. Kritisch kann an dieser Stelle angemerkt werden, dass im Sinne einer standardisierten Dokumentation (BENGEL 1994) die Kalottierung beider Bulbi in der-

selben Schnittebene empfehlenswert gewesen wäre. Dem entgegen steht die Feststellung, dass sich für eine vergleichende Gegenüberstellung sonografischer und fotografischer Bilder die Eröffnung der Augäpfel an der Schnittebene der sonografischen Untersuchung orientieren sollte, sodass jeweils dieselbe Untersuchungsebene miteinander verglichen werden kann. Im Rahmen zukünftiger Arbeiten sollte sich die Entscheidung über die Schnittführung daher an der jeweiligen Zielsetzung orientieren, um einerseits dem Wunsch nach einer standardisierten, reproduzierbaren Vorgehensweise und andererseits der Zielsetzung einer vergleichenden Gegenüberstellung Rechnung zu tragen.

Da keine Parazentese vorgenommen wurde, wie eigentlich von RAVELHOFER (1996) empfohlen, kam es zu artifiziellen Ablösungen von Choroidea und Retina sowie zur Faltenbildung auf der Netzhaut. Es kann somit festgehalten werden, dass das Auffüllen der vorderen Augenkammer als wichtiger Schritt im Fixationsprozess zu werten ist, der unbedingt durchgeführt werden sollte.

5.4.2 Übereinstimmung postklinischer und sonografischer Befunde

Die in der sonografischen Untersuchung erhobenen pathologischen Befunde wurden nachträglich mit den postmortal festgestellten Ergebnissen abgeglichen.

Auch wenn die unter 5.4.1 erwähnten Punkte die Interpretation von Netzhaut- und Linsenveränderungen erschwerten, fielen sie doch letztendlich nicht ins Gewicht, da alle Linsen- und Netzhautbefunde entweder in der ophthalmologischen Untersuchung oder mittels Fundusfotografie bestätigt wurden.

Beim Nachvollziehen physiologischer Befunde ist festzuhalten, dass die punkt- bzw. linienförmigen Strukturen in der Linse postmortal in keinem Fall gesehen wurden, und somit die Annahme gestützt wird, dass es sich hierbei um Artefakte handelte. Glaskörpermembranen und Glaskörperfibrillen konnten post mortem immer bestätigt werden, wenn zuvor ein sonografischer Befund erhoben wurde. Allerdings wurde auch beobachtet, dass beide Strukturen nicht immer sonografisch darstellbar waren, auch wenn sie im Präparat dokumentiert werden konnten.

Alle pathologischen Befunde, die sonografisch dargestellt werden konnten, wurden post mortem bestätigt. Es ist jedoch festzustellen, dass sich, wie bereits von BYRNE und GREEN (2002) beschrieben, Trübungen des Glaskörpers, Fibrin sowie Einblutungen sonografisch häufig weniger dramatisch zeigten als in der postmortalen (und auch der ophthalmologischen) Untersuchung. Dies muss der Untersucher bei der sonografischen Untersuchung von Augen berücksichtigen, deren Augenhintergrund aufgrund eines Korneaödems, eines Hyphaemas oder einer Katarakt nicht eingesehen werden kann.

6 Zusammenfassung

Von Juli 2008 bis Oktober 2009 wurde bei 139 Wildgreifvögeln, die drei Ordnungen sowie neun verschiedenen Arten angehörten, eine sonografische Untersuchung der Augen durchgeführt. Es wurden primär adulte Tiere untersucht, wobei die Untersuchung sowohl gesunde als auch veränderte Augen einschloss.

Ziel der Arbeit war es, Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Ultraschall in der Ornithoophthalmologie zu untersuchen und den Stellenwert der okularen Sonografie für die Betreuung von Wildgreifvögeln einzuschätzen. Dabei wurde zum einen die Darstellung und Darstellbarkeit physiologischer und pathologischer Strukturen im B-Mode beschrieben und zum anderen Referenzwerte für relevante okulare Parameter ermittelt. Die Aussagekraft der Sonografie für die aviäre Augenheilkunde wurde anhand von post mortem angefertigten fotografischen Aufnahmen gesunder und erkrankter Augen überprüft.

Alle sonografischen Untersuchungen wurden mit dem Ultraschallgerät Voluson i der Firma GE Healthcare in Kombination mit einer 17 MHz-Linearsonde durchgeführt. Für die postklinischen Fotografien wurde die digitale Spiegelreflexkamera 80D der Firma Nikon und das Makroobjektiv Nikon AF-S Micro NIKKOR 60 mm 1:2.8 G ED verwendet. Nach einer Routineuntersuchung beider Augen erfolgte zunächst eine Ultraschalluntersuchung im B-Mode für die Darstellung physiologischer und pathologischer Strukturen sowie zur Speicherung von Bildern für die biometrischen Messungen. Bei Tieren, die aufgrund infauster Prognosen euthanasiert werden mussten, wurden die Augen asserviert und nach erfolgter Fixation kalottiert und fotografiert um die Darstellung physiologischer und pathologischer Befunde im Ultraschall zu evaluieren.

Es konnte gezeigt werden, dass die Sonografie für den Einsatz am Greifvogelauge gut geeignet ist. Die Darstellung der meisten Strukturen entspricht derjenigen, die für den Menschen und das Säugetier beschrieben sind. Allerdings kommt es in der Linse häufig zu Auffälligkeiten in Form von punkt- oder linienförmigen Echos, die jedoch als Artefakte eingestuft werden. Im Glaskörper konnten in vielen Fällen echogene Linien dokumentiert werden, welche Glaskörpermembranen entsprechen und deren Auftreten physiologisch ist. Jedoch besteht die Gefahr diese mit Netzhautablösungen zu verwechseln. Vollständige Netzhautablösungen wurden in vivo nicht beobachtet, während partielle Netzhautablösungen sonografisch häufig sehr schlecht oder gar nicht dargestellt werden konnten.

Abgesehen von kataraktös veränderten Augen und Retinopathien, welche aufgrund von Fixationsartefakten nicht beurteilt werden konnten, konnten die mittels Sonografie festgestellten Veränderungen im Rahmen der post mortem angefertigten Fotografien bestätigt werden.

Bei Kenntnis der für den Wildgreifvogel typischen physiologischen Besonderheiten, die für eine korrekte Interpretation der Bilder unabdingbar sind, scheint die okulare Sonografie beim Vogel ein mit dem Säuger vergleichbares Potential zu besitzen. Bei vollständig einsehbarem Auge sind aufgrund der sehr ähnlichen Darstellung mancher Strukturen wie Fibrin oder Blut sowie der begrenzten Aussagekraft bezüglich des Vorliegens von Netzhautablösungen oder auch inflammatorischer Prozesse sicherlich andere Untersuchungsmethoden besser geeignet. Doch gerade im Zusammenhang mit getrübten Medien erlaubt die okulare Sonografie eine schnelle und relativ zuverlässige Aussage über das Vorhandensein pathologischer Veränderungen. Sie kann somit die Aufarbeitung verletzter Wildgreifvögel unterstützen und als Basis für eine medizinisch, tierschutzrechtlich und ökonomisch sinnvolle Entscheidungsfindung über die weitere Zukunft des Tieres dienen.

7 Summary

From July 2008 to October 2009, 139 wild birds of prey belonging to three orders and nine different species underwent an ultrasonographic ocular examination. Primarily, adult birds were examined whereupon the study included both healthy and pathologic eyes.

This work aimed at investigating the chances and limitations of the application of ultrasonography in ornitho-ophthalmology as well as at estimating the value of ocular sonography in medical care of birds of prey. Thereby, the appearance and presentability of physiologic and pathologic structures were described using B-Mode ultrasonography. Furthermore, reference values for relevant ocular parameters were determined. The reliability of ultrasonography in avian ophthalmology was verified with the help of post-mortem photographs of physiologic and pathologic eyes.

All ultrasonographic examinations were conducted with the tool Voluson i of GE Healthcare in combination with a 17 MHz linear transducer. For the post-mortem photographs, the digital reflex camera Nikon 80D and the macro lens AF-S Micro NIKKOR 60 mm 1:2.8 G ED of NIKON were applied. A routine ophthalmologic examination of both eyes was performed on all birds. Then, B-mode ultrasonographic examination was conducted to display physiologic and pathologic structures as well as to save images for biometric measurements.

In animals that had to be euthanized due to a very poor prognosis, the eyes were preserved. Having been fixed, they were cut open and photographs were taken to evaluate the images of physiologic and pathologic findings in ultrasonography.

It could be shown that ocular ultrasonography is suitable for the application in ophthalmology of birds of prey. The appearance of most ocular structures matches those that are described in man and in mammals. However, in the lens of many birds, point- or stripe-like echoes could be displayed but were considered to be artifacts. Furthermore, echogenic lines in the vitreous were found that represented vitreous membranes and fibers. It has to be considered that they can easily be confused with retinal detachments. Furthermore, a detachment of the retina is often difficult to be displayed as its ultrasonographic appearance in the avian eye differs from that in mammals: In most of the cases, the display of partial detachments of the retina was hardly possible or did not work at all.

Apart from eyes suffering from cataracts or retinal diseases that could not be assessed due to fixative artifacts, all pathologic findings in ultrasonography could be verified in post-mortem examination.

For the correct interpretation of avian ocular ultrasonographic images it is essential to be well grounded in the typical physiologic characteristics of wild birds of prey. If this knowledge is

present, ocular sonography in birds possesses a potential comparable to that in mammals. However, in eyes with transparent media, other diagnostic procedures such as normal ophthalmoscopy can be superior because some structures such as fibrin or blood may have a similar appearance in ultrasound and the informative value concerning retinal detachments or inflammatory processes is limited, too. Nevertheless, especially in eyes with opaque media, ocular sonography allows to make a quick and relatively reliable statement about the presence of pathologic changes. Hence, it can support medical care of injured wild birds of prey and provide a basis for decision-making about the animal's future that is in favour of the bird and medically and economically sensible.

8 Literaturverzeichnis

1. AGARWAL, P.K., SINGH, K., DAYAL, Y. Retinal vascular patterns. I. Lower animals *Orient Arch Ophthalmol* 1966;4: 35.
2. AIOUIM American Institute of Ultrasound in Medicine. Conclusions regarding heat. Webseite, 2010
3. ANDERSON, G.A., BUYUKMIHCI, N.C. Phacoanaphylactic endophthalmitis in an owl. *Vet Pathol* 1983;20: 776 - 778.
4. ATTA, H.R. New applications in ultrasound technology. *Br J Ophthalm* 1999;83: 1246-1249.
5. BARLOW, H.B., OSWALD, T.J. Pecten of the pigeon as an intra-ocular shade. *Nature* 1972;236: 88.
6. BARR, F. *Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze*. Stuttgart, Fischer Verlag. Jena 1992.
7. BAUM, G. Ultrasonography in clinical ophthalmology. *Trans Acad Ophth* 1964;68: 265 - 276.
8. BAUM, G. A discussion of acoustic artifacts in ophthalmic ultrasonography. *Am J Ophthalmol* 1965;60: 493 - 498.
9. BAUM, G. An evaluation of ultrasonic techniques *Am J Ophthalmol* 1967;64 (5): 926 - 936.
10. BAUM, G., GREENWOOD, I. The application of ultrasonic locating techniques to ophthalmology: theoretic considerations and acoustic properties of ocular media: Part I Reflective properties. *Am J Ophthalmol* 1958;46: 319-329.
11. BECKER, K.S. The veterinarian's role in the rehabilitation of wild birds in the United States. *Proceeding AAV Conference* 2001: 229-231.
12. BENGEL, W. *Photographie für Mediziner*. Berlin, Chicago, London, Rio de Janeiro, Tokio, 1984.
13. BENGEL, W. Fotografieren im Mund leicht gemacht. *Zahnärztliche Mitteilungen* 1994;84 (15): 16 - 20.
14. BEZZEL, E., PRINZINGER, R. Sinnesorgane. Auge. In: BEZZEL, E. and PRINZINGER, R., eds. *Ornithologie* Stuttgart: Ulmer, 1990: 148-155.
15. BLAKER, A. *Handbook for scientific photography*. San Francisco: W.H.Freeman and Company, 1977.
16. BOROFFKA, S.A., VOOHOUT, G., VERBRUGGEN, A.-M. Intraobserver and interobserver repeatability of biometric measurements obtained by means of B-Mode ultrasonography in dogs. *Am J Vet Res* 2006;67 (10): 1743-1749.
17. BRAEKEVELT, C. Fine structure of the pecten oculi in the great horned owl (*Bubo virginianus*). *Histol Histopath* 1993;8 (1): 9 - 15.

18. BRONSON, N.R. Contact B-Scan ultrasonography. *Am J Ophthalmol* 1974;77: 181 - 191.
19. BRONSON, N.R., TURNER, F.T. A simple B-Scan ultrasonoscope. *Int Ophthalmol Clin* 1973; 90: 237-8
20. BROOKS, D.E. Avian cataracts. *Sem Avian Exotic Pet Med* 1997;6: 131 - 137.
21. BUYUKMIHCI, N.C. Lesions in the ocular posterior segment of raptors. *J Am Vet Med Assoc* 1985;187 (11): 1121-1124.
22. BUYUKMIHCI, N.C., MURPHY, C.J., SCHULZ, T. Developmental ocular disease of raptors. *J Wildlife Diseases* 1988: 207-213.
23. BYRNE, S.L., GREEN, R. *Ultrasound of the eye and orbit*. Mosby St. Louis 2002
24. CANTON, D.D., MURPHY, C.J., BUYUKMIHCI, N.C., SCHULZ, T. Pupilloplasty in a great horned owl with pupillary occlusion and cataracts *J Am Vet Med Assoc* 1992;201 (7): 1087-1090.
25. CARTER, R.T., MURPHY, C.J., STUHR, C.M., DIEHL, K.A. Bilateral phacoemulsification and intraocular lens implantation in a great horned owl. *J Am Vet Med Assoc* 2007;230 (4): 559-561.
26. COLEMAN, D.J. Ultrasonic measurements of eye dimensions. *Int Ophthalmol Clin* 1979;19 (4): 225 - 236.
27. COLEMAN, D.J., JACK, R.L. B-Scan ultrasonography in diagnosis and management of retinal detachments. *Arch Ophthalmol* 1973;90: 29-34.
28. COLEMAN, D.J., JACK, R.L., FRANZEN, L.A. Ultrasonography in ocular trauma. *Am J Ophthalmol* 1973;68 (2): 256 - 262.
29. COLEMAN, D.J., KONIG, W.F., KATZ, L. A hand-operated ultrasound scan system for ophthalmic evaluation. *Am J Ophthalmol* 1969;68: 256.
30. COLLIER, L.L. Procedure for submission of eyes for histopathology. *Proc Ann Symp Vet Comp Path* 1993: 1.
31. COTRILL, N.B., BANKS, W.L., PECHMAN, R.D. Ultrasonographic and biometric evaluation of the eye and orbit in dogs. *Am J Vet Res* 1989;50: 898-903.
32. DANILOV, V., DEMIROCHAGLYAN, G., AVETSYAN, Z., GRIGORYAN, S., SARIBEKHYAN, G. Possible mechanisms of magnetic sensitivity in birds (in Russian). *Biol Zh Arm* 1970;23: 26.
33. DELOGU, M., VALENTINI, S. Diagnosi ecografica delle patologie oculari nelle specie aviare. *La Selezione Veterinaria* 2000;8: 849-856.
34. DESCHAEPDRIJVER, L., SIMOENS, P., LAUWERS, H., JP, D. Retinal vascular patterns in domestic animals. *Res Vet Sci* 1989;47: 34-42.
35. DIETRICH, U. *Augenultraschalluntersuchungen bei Hunden mit Katarakt unter Anwendung des B-Mode/Vektor-A-Scan-Verfahrens München, 1996.*

36. DIETRICH, U.M. Ophthalmic examination and diagnostics. Part 3: diagnostic ultrasonography. In: GELATT, K.N., ed. *Veterinary ophthalmology*. 4 ed.: Blackwell, 2006: 507 - 519.
37. DUKE-ELDER, S. The eyes of birds. In: DUKE-ELDER, S., ed. *System of ophthalmology vol. I: The eye in evolution*. Kimpton. London 1958: 397-427.
38. DZIEZYC, J., HAGER, D.A., MILLICHAMP, N.J. Two-dimensional real-time ocular ultrasonography in the diagnosis of ocular lesions in dogs. *J Am Anim Hosp Assoc* 1987;23: 501 - 508.
39. EL-MAGHRABY, H., NYLAND, T.G., BELLHORN, E.W. Ultrasonographic and biometric evaluation of sheep and cattle eyes. *Vet Radiol Ultrasound* 1995;36 (2): 148-151.
40. ELLIOT, R.H., ELLIOT, M. Section of ophthalmology - photography of macroscopic and microscopic eye specimen. *Lancet* 1916;2 (11): 830.
41. ERICKSON, S.J., HENDRIX, L.E., MASSARO, B.M., AL., E. Color doppler flow imaging of the normal and abnormal orbit. *Radiology* 1989;173: 511.
42. EVANS, H. Organa sensoria - eye. In: BAUMEL, J., KING, A., LUCAS, A., et al., eds. *Nomina anatomica avium*. Academic Press. London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco 1979: 505 - 524.
43. FARROW, C.S. How ultrasound works. In: GREEN, R.W., ed. *Small animal ultrasound*. Lippincott-Raven Publishers. Philadelphia 1996.
44. FITE, K., ROSENFELD-WESSELS, S. A comparative study of deep avian foveas. *Brain Behav Evol* 1975;12: 97 - 115.
45. FIX, A.S., BARROWS, S.Z. Raptors rehabilitated in Iowa during 1986 and 1987: a retrospective study. *J Wildlife Diseases* 1990;26 (1): 18-21.
46. FLAHERTY, P.M., LIEB, W.E., SERGOTT, R.C., AL., E. Color doppler imaging: A new noninvasive technique to diagnose and monitor carotid cavernous sinus fistulas *Arch Ophthalmol* 1991;109: 522.
47. FORD, S., CHITTY, J., JONES, M. Raptor medicine and case management. *Proceedings AAV Conference* 2007: 135 - 50.
48. FRANCOIS, J., NEETENS, A. Comparative anatomy of the vascular supply of the eye in vertebrates. Academic Press. New York 1974.
49. FRANZ, V. Höhere Sinnesorgane. In: BOLK, L., GÖPPERT, E., KALLIUS, E., et al., eds. *Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere - Band 2*. Urban und Schwarzenberg. Berlin, Wien 1934: p. 989-1292.
50. FREWEIN, J., SINOWATZ, F. Sinnesorgane. In: NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E., et al., eds. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 5* Parey. Berlin, Hamburg 2004: 365-86.
51. GELATT, K.N., BROOKS, D.E., KÄLLBERG, M.E. The canine glaucomas. In: GELATT, K.N., ed. *Essentials of veterinary ophthalmology*. 2 ed. Blackwell Publishing. Ames, Oxford, Victoria 2008: 155-187.

52. GERNET, H. Biometrie des Auges mit Ultraschall. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1965;146: 863-874.
53. GEVELHOFF, I. Ultraschall in der Pferdeophthalmologie. *Vet Diss*, München, 1996.
54. GILGER, B.C. Diseases and surgery of the canine cornea and sclera In: GELATT, K.N., ed. *Essentials of veterinary ophthalmology*. 2 ed. Blackwell Publishing, Ames, Oxford, Victoria 2008: 119-153.
55. GLADISCH, R. Einführung in die sonographische Diagnostik. *Tierärztl Praxis* 1993; Sonderheft: 3-19.
56. GONZÁLEZ, E.M., RODRIGUEZ, A., GARCÍA, I. Review of ocular ultrasonography. *Vet Radiol Ultrasound* 2001;42: 485-495.
57. GOODGE, W. Adaption for amphibious vision in the dipper (*Cinclus mexicanus*). *J Morph* 1960;107 (1): 79 - 91.
58. GÖTZ, A.-J. Physikalische Grundlagen. *Kompodium der medizinisch-diagnostischen Ultrasonographie*. Enke. Stuttgart 1983: 7-25.
59. GRIMM, F., KORBEL, R. Untersuchungen zum fibrinolytischen System einiger Vogelspezies: Plasminogenaktivatoren und Plasmininhibitoren. *Tierärztl Umschau* 1989;44: 548 - 555.
60. GUMPENBERGER, M., KOLM, G. Ultrasonographic and computed tomographic examinations of the avian eye: Physiologic appearance, pathologic findings, and comparative biometric measurements. *Vet Radiol & Ultrasound* 2006;47 (5): 492-502.
61. GUTHOFF, R., GUTHOFF, K. Ultraschalldiagnostik in der Augenheilkunde. Teil 1: Methodik, Trübung der brechenden Medien *Zeitschr prakt Augenheilk* 1987;6 (Sonderdr.): 3-8.
62. GUTHOFF, R., PAULEIKHOFF, D., HINGST, V. Bildgebende Diagnostik in der Augenheilkunde. Enke. Stuttgart 1999.
63. GYLSTORFF, I., GRIMM, F. Organkrankheiten: Sinnesorgane. In: GYLSTORFF, I. and GRIMM, F., eds. *Vogelkrankheiten*. 2 ed. Eugen Ulmer GmbH&Co. Stuttgart 1998: 321 -323.
64. HAMIDZADA, W.A., OSUOBENI, E.P. Agreement between A-Mode and B-Mode Ultrasonography in the Measurement of Ocular Distances *Vet Radiol Ultrasound* 1999;40 (4): 502-507.
65. HANZLEY, L., SOUTHERN, W.E., MOLSEN, D. Ultrastructure of the ring-billed gull eye pecten. *Cytobios* 1975;12: 191.
66. HEIDER, H.-J. Sonographie des erkrankten Auges. In: POULSEN NAUTRUP, C. and TOBIAS, R., eds. *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze*. 2. ed. Schlütersche GmbH. Hannover 1998: 99-108.
67. HENDRIX, D.V.H. Diseases and surgery of the canine anterior uvea. In: GELATT, K.N., ed. *Essentials of veterinary ophthalmology*. 2 ed. Blackwell Publishing. Ames, Oxford, Victoria 2008: 189 - 216.

68. HERNÁNDEZ-GUERRA, A.M., RODILLA, V., M.M., L.-M. Ocular biometry in the adult anesthetized ferret. *Vet Ophthalmol* 2007;10 (1): 50-52.
69. HOFFMANN, I., KÖSTLIN, R. Die sonographische Untersuchung des vorderen Augenabschnittes beim Kleintier. Teil 1: Untersuchungstechnik und echographische Normalbefunde *Tierärztl Prax* 2004;32 (K): 175-179.
70. JAKOBY, J.R., KÖSTERS, J. Voraussetzungen zur Wiederauswilderung von rehabilitierbaren Wildvogelpatienten. *Tierärztl Prax* 1990;18: 503-505.
71. KARPINSKI, L., CLUBB, S. Clinical aspects of ophthalmology in caged birds. *Proc Int Conf Avian Med* 1983: 216 - 227.
72. KERN, T.J. Exotic animal ophthalmology. Birds. In: GELATT, K.N., ed. *Veterinary Ophthalmology vol. 2*. Blackwell Publishing. Ames, Oxford, Victoria 2008: 1381 - 1389.
73. KOCH, S., RUBIN, L. Diagnostic ultrasonography of the dog eye. *J Small Anim Pract* 1969;10: 357 - 361.
74. KORBEL, R. Photographie in der Vogelmedizin. VII DVG-Tagung Vogelkrankht 1990: 19 - 24.
75. KORBEL, R. Zum derzeitigen Stand der Ornitho-Ophthalmologie. *Tierärztl Praxis* 1991 a;19: 497-507.
76. KORBEL, R. Okulare Manifestationen systemischer Erkrankungen beim Vogelpatienten - Teil 1. *Tierärztl Prax* 1992;20: 385-394.
77. KORBEL, R. Okulare Manifestationen systemischer Erkrankungen beim Vogelpatienten - Teil 2. *Tierärztl Prax* 1992;20: 483-491.
78. KORBEL, R. Zwangsmaßnahmen beim Vogelpatienten . Theoretische Grundlagen und praktische Durchführung. *Tierärztl Praxis* 1992;20 (59-64; 164-70).
79. KORBEL, R. Augenheilkunde bei Vögeln: Ätiologie und Klinik von Augenkrankheiten, Luftsack-Perfusionsanästhesie, ophthalmologische Photographie und Bildatlas der Augenerkrankungen bei Vögeln. *Vet Habil*, München, 1994.
80. KORBEL, R. Erkrankungen des Augenhintergrundes beim Vogel - Untersuchungstechniken und Befunde. *Wien Tierärztl Mschr* 1999;86: 395-410.
81. KORBEL, R. Avian ophthalmology: a clinically orientated approach. *Proceedings AAV Conference* 2000: 439-455.
82. KORBEL, R. Linsentrübung bei einem juvenilen Uhu (*Bubo virginianus*). *Tierärztl Prax* 2002;30(K): 145-147.
83. KORBEL, R. Investigations into intraocular injection of recombinant tissue plasminogen activator (rTPA) for the treatment of trauma-induced intraocular hemorrhages in birds *Proceedings AAV Conference* 2003.

84. KORBEL, R., NELL, B., REDIG, P., WALDE, I., REESE, S. Video fluorescein angiography in the eyes of various raptors and mammals. Proceedings AAV Conference 2000: 89-95.
85. KORBEL, R., SCHÄFFER, E.H., RAVELHOFER, K., KÖSTERS, J. Okulare Manifestationen von Mykobakterien bei Vögeln. Tierärztl Prax 1997;25: 552-558.
86. KORBEL, R.T. Disorders of the posterior eye segment in raptors - examination procedures and findings In: LUMEIJ, J.T., REMPLE, J.D., REDIG, P.D., et al., eds. Raptor Biomedicine III Lake Worth, 2000: 179 - 193.
87. KREMKAU, F.W. Ultrasound. Diagnostic ultrasound: principles, instruments, and exercises. W.B. Saunders. Philadelphia 1989: 9 - 56.
88. KRONE, O. Persönliche Mitteilung, 2007.
89. KUMMERFELD, N., KORBEL, R., LIERZ, M. Therapie oder Euthanasie von Wildvögeln - tierärztliche und biologische Aspekte. Tierärztl Prax 2005;33 (K): 431-439.
90. LAWTON, M.P.C. Avian anterior segment disease. Proceedings Association of Avian Veterinarians 1993: 223-227.
91. LEVINE, J. Consensual pupillary response in birds. Science 1955;122: 690.
92. LIERZ, M., GRESHAKE, M., KORBEL, R., KUMMERFELD, N., HAFEZ, H.M. Falknerisches Training und Auswilderbarkeit von Wildvögeln - ein Widerspruch? Tierärztl Prax 2005;33(K): 440-445.
93. LINDSAY-JONHNSON, G. Contribution to the comparative anatomy of the mammalian eye briefly based on ophthalmoscopic examination. PhilosTrans R Soc London, B 1901;194: 1.
94. LIZZI, F.L., COLEMAN, D.J. History of ophthalmic ultrasound. J Ultrasound Med 2004;23 (10): 1255 - 1266.
95. LO, W.-K., KUCK, J.F.R., SHAW, A.P., YU, N.-T. The altricial pigeon is born blind with a transient glycogen cataract Exp Eye Res 1993;56: 121-126.
96. MAGGS, D.J. Cornea and Sclera. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., and OFRI, R., eds. Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology. 4 ed. Saunders Elsevier. St. Louis 2008: 175 - 202.
97. MANN, I. The function of the pecten. Br J Ophthalmol 1924: 209 - 226.
98. MARTIN, C.L. Glossar. In: MARTIN, C.L., ed. Augenkrankheiten bei Hund und Katze (Pferd, Wiederkäuer) Alfeld (Leine), M.&H. Schaper. Hannover 1995.
99. MARTIN, C.L. Kornea und Sklera. In: MARTIN, C.L., ed. Augenkrankheiten bei Hund und Katze (Pferd, Wiederkäuer) Alfeld (Leine), M.&H.Schaper. Hannover 1995: 175 - 232.
100. MARTIN, G.R. Eye. In: KING, A. and MCLELLAND, J., eds. Form and function in birds vol. 3. Academic Press. London, Orlando, San Diego, New York, Montreal, Sydney, Tokyo 1985: 311-373.

101. MCLEOD, D., RESTORI, M., WRIGHT, J.E. Rapid B-scanning of the vitreous. *Br J Ophthalmol* 1977;61: 437 - 445.
102. MEIER, H. Artefakte in der Ultraschalldiagnostik. *Tierärztl Praxis Suppl* 1989;4: 36 - 46.
103. MENNER, E. Die Bedeutung des Pecten im Auge für die Wahrnehmung von Bewegung nebst Bemerkungen über seine Ontogenie und Histologie. *Zool Jahrb Abt Allg Zool Physiol Tiere* 1938;58: 481.
104. MEYER, D.B. The avian eye. In: STURKIE, P.D., ed. *Avian Physiology*. Springer. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo 1986: 37 - 48.
105. MIKAELIAN, I., PAILLET, I., WILLIAMS, D. Comparative Use of various mydriatic drugs in kestrels. *Am J Vet Res* 1994;55 (2): 270-272.
106. MILLER, P.E. Uvea. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., and OFRI, R., eds. *Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*. 4 ed. Saunders Elsevier. St. Louis 2008: 203 - 229.
107. MILLER, W.C., RE B-Scan ultrasonography for the detection of space-occupying ocular masses. *J Am Vet Med Assoc* 1985;187 (1): 66 - 68.
108. MUNDT, G.H., HUGHES, W.E. Ultrasonics in ocular diagnosis. *Am J Ophthalm* 1956;41: 488-498.
109. MURPHY, C.J. Raptor ophthalmology. *Proceedings AAV Conference* 1984: 43 - 56.
110. MURPHY, C.J., BROOKS, D.E., KERN, T.J., QUESENBERRY, K.E., RIIS, R.C. Enucleation in birds of prey. *J Am Vet Med Assoc* 1983;183 (11): 1234 - 1237.
111. MURPHY, C.J., KERN, T.J., MCKEEVER, K., MACCOY, D. Ocular lesions in free-living raptors. *J Am Vet Med Assoc* 1982;181 (11): 1302-1304.
112. NARFSTRÖM, K., PETERSEN-JONES, S. Diseases of the canine ocular fundus. In: GELATT, K.N., ed. *Essentials of veterinary ophthalmology*. 2 ed. Blackwell Publishing. Ames, Oxford, Victoria 2008: 251 - 280.
113. NEUMANN, W. Biometrie am Hundeauge. *Kleintierpraxis* 1988;33: 127 - 130.
114. OFRI, R. Lens: Cataract. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., and OFRI, R., eds. *Fundamentals of Veterinary ophthalmology*. Saunders Elsevier. St. Louis 2008: 261 -269.
115. OFRI, R. Retina. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., and OFRI, R., eds. *Fundamentals of Veterinary Ophthalmology*. 4 ed. Saunders Elsevier. St. Louis 2008: 285- 319.
116. OKSALA, A., LEHTINEN, A. Diagnostic value of ultrasonics in ophthalmology. *Ophthalmologica* 1957;134: 387-395.
117. OSSOINIG, K.C. Standardized echography: basic principles, clinical applications and results. *Int Ophthalmol Clin* 1979;19: 127-210.

118. PAULI, A.M., CRUZ-MARTINEZ, L.A., PONDER, J.B., REDIG, P.T., GLASER, A.L., KLAUSS, G., SCHOSTER, J.V., WÜNSCHMANN, A. Ophthalmologic and oculopathologic findings in red-tailed hawks and cooper's hawks with naturally acquired west nile virus infection. *J Am Vet Med Assoc* 2007;231 (8): 1240-1248.
119. PAVLIN, C.J., SHERAR, M.D., FOSTER, F.S. Subsurface ultrasound microscopic imaging of the intact eye. *Ophthalmology* 1990;97: 244-250.
120. PEARSON, R. The avian eye and vision. In: PEARSON, R., ed. *The avian brain*. Academic Press. London, New York 1972: 279-318.
121. PETTIGREW, J., WALLMANN, J., WILDISOET, C. Saccadic oscillations facilitate ocular perfusion from the avian pecten. *Nature* 1990;343: 362-363.
122. PLUMMER, C.E., RAMSEY, D.T., HAUPTMAN, J.G. Assessment of corneal thickness, intraocular pressure, optical corneal diameter, and axial globe dimensions in miniature horses. *Am J Vet Res* 2003;64 (6): 661-665.
123. POLLOCK, C.G. Wildlife rehabilitation: practical and ethical considerations for the avian veterinarian. *Proceedings AAV Conference* 2003
124. POTTER, T.J., HALLOWELL, G.D., BOWEN, I.M. Ultrasonographic Anatomy of the Bovine Eye. *Vet Radiol Ultrasound* 2008;49 (2): 172 - 175.
125. POULSEN NAUTRUP, C. Physikalische Grundlagen. In: POULSEN NAUTRUP, C. and TOBIAS, R., eds. *Atlas der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze*. 2. ed. Schlütersche GmbH. Hannover 1998: 21-30.
126. POULSEN NAUTRUP, C. Technische Grundlagen. In: POULSEN NAUTRUP, C. and TOBIAS, R., eds. *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze*. 2. ed. Schlütersche GmbH. Hannover 1998: 31-59.
127. POULSEN NAUTRUP, C., HEIDER, H.-J., EGGERS, S. Auge. In: POULSEN NAUTRUP, C. and TOBIAS, R., eds. *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze*. 2. ed. Schlütersche GmbH. Hannover 1998: 92-99.
128. PUMPHREY, R. The theory of the fovea. *J Exp Biol* 1948;25: 299 - 312.
129. PUMPHREY, R.J. Sensory Organs - Vision. In: MARSHALL, A.J., ed. *Biology and comparative physiology in birds* vol. 2. Academic Press. London, New York 1961:55-68.
130. PURNELL, E.W. B-Mode orbital ultrasonography. *Int Ophthalmol Clin* 1969;9: 643-665.
131. PURNELL, E.W., SOKOLLU, A., TORCHIA, R., TANER, N. Focal chorioretinitis produced by ultrasound. *Investigative Ophthalmology* 1964;3 (6): 657 - 664.
132. RANTANEN, N.W., EWING, R.L. Principles of ultrasound application in animals. *Vet Radiol* 1981;22 (5): 196 - 203.
133. RAVELHOFER, K. *Pathologisch-anatomische Untersuchungen an Augen verschiedener Vogelspezies* München, 1996.

134. REESE, S., KORBEL, R., LIEBICH, H.G. Sehorgan. In: KÖNIG, H.E., KORBEL, R., and LIEBICH, H.G., eds. Anatomie der Vögel. 1 ed. Schattauer. Stuttgart, New York 2009: 229-56.
135. ROGERS, M., CARTEE, R.E., MILLER, W., IBRAHIM, A.K. Evaluation of the extirpated equine eye using B-Mode sonography. *Vet Radiol* 1986;27 (1): 24 - 29.
136. ROTT, H.-D. Zur Frage der Schädigungsmöglichkeit durch diagnostischen Ultraschall. *Ultraschall* 1981;2: 56 - 64.
137. SAUNDERS, L.Z., RUBIN, L.F. Postmortem technique. In: SAUNDERS, L.Z. and RUBIN, L.F., eds. Ophthalmic pathology of animals An atlas and reference book Basel, München, Paris, London, New York, Sydney: Karger, 1975: p. 244 - 253.
138. SCANLAN, K.A. Sonographic artifacts and their origin. *Am J Radiol* 1991;156: 1267 - 1272.
139. SCHIFFER, S.P., RANTANEN, N.W., LEARY, G.A. Biometric study of the canine eye using A-Mode ultrasonography. *Am J Vet Res* 1982;43: 826-830.
140. SCHOTT, E. Untersuchung zur Anwendung der Lokalanästhesie bei Tauben (*Columba livia* Gmel., 1789, forma urbana) mit Procain und Lidocain München, 1987.
141. SEAMAN, A. Ultrafine architecture of the avian pecten oculi *Graefes Arch Ophthalmol* 1966;170: 1 - 15.
142. SEIDEL, B. Augenkrankheiten der Vögel. In: SCHMIDT, V., ed. Augenkrankheiten der Haustiere. Enke. Stuttgart 1988: 237 - 261.
143. SLATTER, D. Orbit. Surgical procedures: enucleation *Fundamentals of veterinary ophthalmology*. 2 ed. W.B. Saunders. Philadelphia 1990: 497 - 507.
144. SLONAKER, J. 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.
145. SNOW, S. Assessing and Achieving Accuracy in Digital Dental Photography. *J Calif Dent Assoc* 2009;37 (3): 185 - 191.
146. STRAHLENSCHUTZKOMMISSION. Empfehlungen zur Patientensicherheit bei Anwendungen der Ultraschalldiagnostik in der Medizin. Fischer. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, 1998.
147. STURKIE, P.D., GRIMINGER, P. Body fluids: blood. In: STURKIE, P.D., ed. Avian physiology. Springer. New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo 1986.
148. THOMSON, A. The pecten considered from an environmental point of view. *Ibis* 1929;12: 608.
149. TIEDEMANN, D. Von den Sehorganen der Vögel. In: TIEDEMANN, D., ed. Anatomie und Naturgeschichte der Vögel - Band 1. Mohr und Zimmer. Heidelberg 1810: 48-88.
150. TORCHIA, R.T., PURNELL, E.W., SOKOLLU, A. Cataract Production by Ultrasound. *Am J Ophthalm* 1967;64: 305-309.

151. TSCHG. Tierschutzgesetz, 1972.
152. VETTER, J.P. Gross specimen photography In: VETTER, J.P., ed. Biomedical photography Boston, London, Oxford, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington Butterworth-Heinemann, 1992: p. 359 - 386.
153. WALDE, I., NELL, B., SCHÄFFER, H.E., KÖSTLIN, R.G. Augenheilkunde - Lehrbuch und Atlas. Schattauer. Stuttgart, New York 2008.
154. WALLS, F.L. The Vertebrate Eye. Bulletin No 19 Cranbook Institute of Science 1942.
155. WENDELL, M.D., SLEEMAN, J.M., KRATZ, G. Retrospective study of morbidity and mortality of raptors admitted to Colorado state university veterinary teaching hospital during 1995 to 1998. J Wildlife Diseases 2002;38 (1): 101-106.
156. WILCOCK, B.P. General pathology of the eye. In: MAGGS, D.J., MILLER, P.E., and OFRI, R., eds. Slatter's Fundamentals of Veterinary Ophthalmology. 4 ed. Saunders Elsevier. St. Louis 2008: 62 - 80.
157. WILLIAMS, D. Ophthalmology. In: RITCHIE, B.W., HARRISON, G.J., and HARRISON, L.R., eds. Avian Medicine: Principles and Application. Wingers Publications. Lake Worth 1994: 677 - 694.
158. WILLIAMS, J., WILKIE, D.A. Ultrasonography of the eye. Comp Comt Educ: Small Animal Pract 1996;18: 667-676.
159. WILLIAMS, J., WILKIE, D.A., GRÄNITZ, U. Ultraschalluntersuchungen in der Veterinärophthalmologie. Tierärztl Praxis 1995;23: 111 - 115.
160. WINGSTRAND, K.G., MUNK, O. The pecten oculi of the pigeon with particular regard to its function. Skr K Dan Vidensk Selsk 1965;14: 1.
161. WOOD, C. The fundus oculi of birds especially as viewed by the ophthalmoscope. Lakeside Press. Chicago 1917.
162. ZAKOV, Z.N., LOUISE, A., GUTMAN, F.A. Ultrasonographic mapping of vitreoretinal abnormalities. Am J Ophthalmol 1983;69: 622 - 631.
163. ZISKIN, M.C., ROMAYANANDA, N., HARRIS, K. Ophthalmologic effects of ultrasound at diagnostic intensities. J Clin Ultrasound 1974;2 (2): 119-122.

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Augapfelformen beim Vogel: flach, globulär und tubulär	8
Abbildung 2: Position des Pecten oculi im Auge	12
Abbildung 3: Mechanismus der lentikulären Akkomodation	15
Abbildung 4: Verhalten von Schallwellen an Grenzflächen	31
Abbildung 5: Ungerichtete Reflexion	32
Abbildung 6: Prinzip der Beugung	32
Abbildung 7: Schallfeldgeometrie	38
Abbildung 8: Axiale (A), transversale (B) und longitudinale (C) Untersuchungsebene	42
Abbildung 9: Schnittführung bei der Bulbuskalottierung des rechten Auges	49
Abbildung 10: Lokalisation der okularen Veränderungen	53
Abbildung 11: Ultraschallgerät Voluson i	56
Abbildung 12: Linearsonde R SP 6 – 16 RS/SM P	57
Abbildung 13: Aufbau für die Fotografie der Augenpräparate	59
Abbildung 14: Positionierung des Schallkopfes in den axialen Schnittebenen	64
Abbildung 15: Platzierung der okularen Messpunkte	67
Abbildung 16: Messpunkte am Pecten oculi	67
Abbildung 17: Schnittführung bei der Kalottierung der Bulbi	69
Abbildung 18: Physiologische sonografische Darstellung bei einem tagaktiven Greifvogel.	76
Abbildung 19: Physiologische sonografische Darstellung bei einer Eule	76
Abbildung 20: Physiologischer Bulbus anterior bei tagaktiven Greifvögeln	78
Abbildung 21: Physiologischer Bulbus anterior bei Eulenvögeln	78
Abbildung 22: Häufiger physiologischer Befund in der Linse von Taggreifvögeln	80
Abbildung 23: Häufiger physiologischer Befund in der Linse verschiedener Eulenvögel	80
Abbildung 24: Häufiger physiologischer Befunde in der Linse von Schleiereulen	81
Abbildung 25: Verteilung physiologischer Befunde in Glaskörper und Linse ³²	83

Abbildung 26: Schallschatten durch den Skleralring	84
Abbildung 27: Häufiger physiologischer Befund im Fundus von Taggreifvögeln	84
Abbildung 28: Häufiger physiologischer Befund im Glaskörper von Taggreifen	85
Abbildung 29: Häufiger physiologischer Befund im Glaskörper von Taggreifen	85
Abbildung 30: Unruhige hintere Augenwand als physiologischer Befund bei Eulenvögeln..	86
Abbildung 31: Pekten Mäusebussard.....	88
Abbildung 32: Pekten Sperber.....	88
Abbildung 33: Pekten Habicht	88
Abbildung 34: Pekten Turmfalke	89
Abbildung 35: Pekten Schleiereule.....	89
Abbildung 36: Pekten Waldohreule	89
Abbildung 37: Pekten Waldkauz.....	90
Abbildung 38: Pekten Steinkauz.....	90
Abbildung 39: Pekten Uhu.....	90
Abbildung 40: Nervus opticus.....	91
Abbildung 41: Sonografische Darstellung der extraokularen Muskulatur.....	92
Abbildung 42: Großflächiges frisches Hyphaema	94
Abbildung 43: Geringgradiges älteres Hyphaema.....	95
Abbildung 44: Großflächiges älteres Hyphaema	95
Abbildung 45: Fibrin in der vorderen Augenkammer	96
Abbildung 46: Hintere Synechie	97
Abbildung 47: Ablatio choroideae et retinae (1)	99
Abbildung 48: Ablatio choroideae et retinae (2)	99
Abbildung 49: Retinaödem	100
Abbildung 50: Partielle Ablatio retinae.....	102
Abbildung 51: Partielle Ablatio retinae und Hämorrhagia intravitreale	102
Abbildung 52: Partielle Ablatio retinae (1)	103
Abbildung 53: Partielle Ablatio retinae(2)	103

Abbildung 54: Vollständige Netzhautablösung (1).....	104
Abbildung 55: Vollständige Netzhautablösung (2).....	104
Abbildung 56: Diffuse Glaskörpertrübung bei ggr. Hämorrhagia intravitreale (1).....	106
Abbildung 57: Diffuse Glaskörpertrübung bei ggr. Hämorrhagia intravitreale(2).....	106
Abbildung 58: Blutungen des Augenfächers (1).....	107
Abbildung 59: Blutungen des Augenfächers (2).....	107
Abbildung 60: Partieller Pektinabriss und Hämorrhagia intravitreale (1).....	109
Abbildung 61: Partieller Pektinabriss und Hämorrhagia intravitreale (2).....	109
Abbildung 62: Cataracta immatura subcapsularis anterior.....	111
Abbildung 63: Cataracta matura nuclearis	111
Abbildung 64: Linsenpyknose infolge Cataracta hypermatura (1).....	112
Abbildung 65: Linsenpyknose infolge Cataracta hypermatura (2).....	112
Abbildung 66: Zusammenhangstrennung der hinteren Linsenkapsel	113
Abbildung 67: Cataracta hypermatura capsularis, Kapselruptur, asteroide Hyalose (1)	114
Abbildung 68: Cataracta hypermatura capsularis, Kapselruptur, asteroide Hyalose (2)	114
Abbildung 69: Luxatio lentis mit Bulbusruptur und Hämophthalmus (1).....	116
Abbildung 70: Luxatio lentis mit Bulbusruptur und Hämophthalmus (2).....	116
Abbildung 71: Fibrinbildung im Glaskörper infolge Hämorrhagia intravitreale.....	118
Abbildung 72: Fibrinbildung nach Hämorrhagia intravitrale mit Traktionsamotio (1).....	119
Abbildung 73: Fibrinbildung nach Hämorrhagia intravitrale mit Traktionsamotio (2).....	119
Abbildung 74: Bulbusruptur (1).....	121
Abbildung 75: Bulbusruptur (2).....	121
Abbildung 76: Juvenile Entwicklung des Auges beim Turmfalke	125
Abbildung 77: Juvenile Entwicklung des Auges bei der Schleiereule	125

Intraokulare Messparameter

Mäusebussard – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,595	0,049	0,500	0,700
OD horizontal	0,600	0,033	0,567	0,633
OS vertikal	0,538	0,047	0,467	0,600
OS horizontal	0,564	0,050	0,500	0,667
Vordere Augenkammer				
OD vertikal	3,855	0,156	3,533	4,100
OD horizontal	3,807	0,136	3,567	4,000
OS vertikal	3,859	0,147	3,300	4,133
OS horizontal	3,883	0,130	3,567	4,067
Linse axial				
OD vertikal	5,119	0,190	4,900	5,567
OD horizontal	4,977	0,156	4,633	5,200
OS vertikal	4,982	0,194	4,467	5,667
OS horizontal	5,010	0,191	4,700	5,400
Linse transversal				
OD vertikal	11,008	0,394	10,500	12,233
OD horizontal	10,927	0,384	10,367	11,300
OS vertikal	10,851	0,275	9,700	11,133
OS horizontal	10,985	0,332	10,067	11,433
Glaskörper axial				
OD vertikal	13,300	0,466	12,200	13,900
OD horizontal	13,493	0,260	12,967	13,867
OS vertikal	13,518	0,243	12,433	13,867
OS horizontal	13,486	0,266	13,033	13,900
Hintere Augwand				
OD vertikal	1,520	0,153	1,367	1,85
OD horizontal	1,567	0,115	1,433	1,733
OS vertikal	1,533	0,131	1,333	2,267
OS horizontal	1,554	0,107	1,367	1,733
Bulbus axial				
OD vertikal	24,343	0,510	23,233	25,067
OD horizontal	24,437	0,474	23,400	25,200
OS vertikal	24,431	0,388	23,400	24,967
OS horizontal	24,497	0,404	23,400	25,033
Pekten				
OD transversal	7,253	0,331	6,833	7,767
OS transversal	7,503	0,486	6,767	8,200

Sperber – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,392	0,024	0,333	0,400
OD horizontal	0,392	0,046	0,333	0,467
OS vertikal	0,383	0,055	0,300	0,433
OS horizontal	0,397	0,027	0,350	0,433
Vordere Augenkammer				
OD vertikal	2,037	0,124	1,800	2,200
OD horizontal	2,054	0,134	1,867	2,267
OS vertikal	2,000	0,130	1,833	2,200
OS horizontal	2,031	0,148	1,800	2,200
Linse axial				
OD vertikal	4,192	0,239	3,767	4,267
OD horizontal	4,075	0,171	3,733	4,300
OS vertikal	4,061	0,197	3,700	4,233
OS horizontal	4,108	0,203	3,733	4,300
Linse transversal				
OD vertikal	7,417	0,376	7,033	8,133
OD horizontal	7,538	0,265	7,067	7,700
OS vertikal	7,117	0,440	6,633	7,700
OS horizontal	7,242	0,329	6,750	7,700
Glaskörper axial				
OD vertikal	7,363	0,414	6,867	8,000
OD horizontal	7,408	0,413	6,900	7,967
OS vertikal	7,339	0,459	6,900	8,000
OS horizontal	7,308	0,440	6,867	7,900
Hintere Augenhaut				
OD vertikal	0,956	0,372	0,867	1,133
OD horizontal	1,071	0,065	0,967	1,133
OS vertikal	1,044	0,124	0,867	1,233
OS horizontal	1,053	0,131	0,900	1,267
Bulbus axial				
OD vertikal	15,058	0,704	14,133	15,867
OD horizontal	15,000	0,652	14,100	15,800
OS vertikal	14,828	0,748	14,033	15,800
OS horizontal	14,897	0,772	14,167	15,750
Pekten				
OD transversal	4,275	0,417	3,500	4,767
OS transversal	4,378	0,363	3,867	4,867

Habicht – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,450	0,024	0,433	0,467
OD horizontal	0,450	0,071	0,400	0,500
OS vertikal	0,433	0,047	0,400	0,467
OS horizontal	0,450	0,024	0,433	0,467
Vordere Augenkammer				
OD vertikal	3,233	0,094	3,167	3,300
OD horizontal	3,167	0,189	3,033	3,300
OS vertikal	3,250	0,071	3,200	3,300
OS horizontal	3,183	0,165	3,067	3,300
Linse axial				
OD vertikal	5,333	0,094	5,267	5,400
OD horizontal	5,367	0,189	5,233	5,500
OS vertikal	5,333	0,047	5,300	5,367
OS horizontal	5,367	0,094	5,300	5,433
Linse transversal				
OD vertikal	10,050	0,259	9,867	10,233
OD horizontal	10,067	0,283	9,867	10,267
OS vertikal	9,875	0,247	9,700	10,050
OS horizontal	10,150	0,448	9,833	10,467
Glaskörper axial				
OD vertikal	11,250	0,024	11,233	11,267
OD horizontal	11,400	0,236	11,233	11,567
OS vertikal	11,350	0,118	11,267	11,433
OS horizontal	11,417	0,024	11,400	11,433
Hintere Augenhaut				
OD vertikal	1,483	0,024	1,467	1,500
OD horizontal	1,317	0,188	1,233	1,400
OS vertikal	1,350	0,024	1,333	1,367
OS horizontal	1,350	0,118	1,267	1,433
Bulbus axial				
OD vertikal	21,750	0,024	21,733	21,767
OD horizontal	21,700	0,189	21,567	21,833
OS vertikal	21,717	0,212	21,567	21,867
OS horizontal	21,767	0,189	21,633	21,900
Pekten				
OD transversal	7,033	0,236	6,867	7,200
OS transversal	6,900	0,330	6,667	7,133

Turmfalke – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,286	0,058	0,200	0,367
OD horizontal	0,313	0,036	0,267	0,400
OS vertikal	0,311	0,044	0,233	0,367
OS horizontal	0,311	0,022	0,300	0,367
Vordere Augenkammer				
OD vertikal	2,349	0,101	2,167	2,500
OD horizontal	2,364	0,114	2,167	2,567
OS vertikal	2,346	0,109	2,167	2,533
OS horizontal	2,350	0,110	2,133	2,567
Linse axial				
OD vertikal	3,938	0,379	3,400	4,000
OD horizontal	3,802	0,197	3,433	4,100
OS vertikal	3,821	0,177	3,400	4,100
OS horizontal	3,853	0,224	3,467	4,150
Linse transversal				
OD vertikal	7,898	0,438	7,267	8,500
OD horizontal	7,953	0,389	7,400	8,700
OS vertikal	7,737	0,420	7,300	8,467
OS horizontal	7,846	0,500	6,500	8,500
Glaskörper axial				
OD vertikal	8,526	0,264	8,200	8,967
OD horizontal	8,501	0,237	8,133	9,100
OS vertikal	8,540	0,265	8,100	9,100
OS horizontal	8,543	0,267	8,100	8,933
Hintere Augenhaut				
OD vertikal	1,149	0,090	1,067	1,333
OD horizontal	1,194	0,153	0,933	1,533
OS vertikal	1,186	0,103	1,000	1,433
OS horizontal	1,189	0,098	1,067	1,400
Bulbus axial				
OD vertikal	16,171	0,377	15,300	16,833
OD horizontal	16,174	0,425	15,233	16,900
OS vertikal	16,203	0,407	15,400	16,900
OS horizontal	16,246	0,443	15,367	16,967
Pekten				
OD transversal	5,519	0,537	4,667	6,325
OS transversal	5,540	0,417	4,900	6,300

Schleiereule – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,326	0,055	0,233	0,433
OD horizontal	0,346	0,035	0,3	0,4
OS vertikal	0,324	0,038	0,3	0,4
OS horizontal	0,340	0,038	0,3	0,4
Vord. Augenkammer				
OD vertikal	2,770	0,107	2,633	2,933
OD horizontal	2,738	0,139	2,500	2,933
OS vertikal	2,793	0,116	2,633	3,000
OS horizontal	2,738	0,178	2,533	3,067
Linse axial				
OD vertikal	5,733	0,158	5,567	6,033
OD horizontal	5,683	0,141	5,500	5,867
OS vertikal	5,674	0,062	5,6	5,767
OS horizontal	5,700	0,082	5,6	5,867
Linse transversal				
OD vertikal	8,933	0,617	8,333	10,267
OD horizontal	8,575	0,743	7,067	9,433
OS vertikal	8,717	0,512	8,233	9,567
OS horizontal	8,767	0,509	8,333	9,600
Glaskörper axial				
OD vertikal	6,826	0,253	6,533	7,233
OD horizontal	6,879	0,232	6,667	7,267
OS vertikal	6,867	0,215	6,500	7,200
OS horizontal	6,867	0,184	6,633	7,200
Hintere Augenhaut				
OD vertikal	0,993	0,220	0,833	1,533
OD horizontal	0,976	0,110	0,800	1,167
OS vertikal	0,979	0,189	0,833	1,333
OS horizontal	0,969	0,172	0,817	1,300
Bulbus axial				
OD vertikal	16,648	0,409	16,033	17,433
OD horizontal	16,642	0,269	16,200	17,033
OS vertikal	16,622	0,361	15,933	17,267
OS horizontal	16,650	0,299	16,467	17,067
Pekten				
OD transversal	4,000	0,477	3,300	4,667
OS transversal	3,943	0,449	3,267	4,500

Waldohreule – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,293	0,037	0,233	0,333
OD horizontal	0,317	0,058	0,267	3,267
OS vertikal	0,295	0,030	0,233	0,333
OS horizontal	0,314	0,026	0,300	0,367
Vord. Augenkammer				
OD vertikal	3,323	0,072	3,267	3,450
OD horizontal	3,217	0,104	3,067	3,300
OS vertikal	3,302	0,075	3,200	3,450
OS horizontal	3,214	0,102	3,100	3,333
Linse axial				
OD vertikal	6,140	0,076	6,033	6,233
OD horizontal	6,133	0,067	6,100	6,233
OS vertikal	6,210	0,142	6,033	6,467
OS horizontal	6,214	0,160	6,000	6,500
Linse transversal				
OD vertikal	10,360	0,608	9,500	10,833
OD horizontal	10,592	0,401	10,067	11,033
OS vertikal	10,414	0,506	9,500	10,833
OS horizontal	10,538	0,314	10,067	10,900
Glaskörper axial				
OD vertikal	7,800	0,115	7,633	7,900
OD horizontal	7,783	0,140	7,600	7,933
OS vertikal	7,714	0,174	7,633	7,900
OS horizontal	7,700	0,149	7,433	7,867
Hintere Augenkammer				
OD vertikal	1,250	0,103	1,100	1,367
OD horizontal	1,233	0,187	0,967	1,400
OS vertikal	1,260	0,151	1,067	1,500
OS horizontal	1,229	0,256	0,800	1,467
Bulbus axial				
OD vertikal	18,807	0,109	18,667	18,933
OD horizontal	18,683	0,123	18,533	18,667
OS vertikal	18,781	0,145	18,667	18,933
OS horizontal	18,671	0,173	18,367	18,833
Pekten				
OD transversal	4,020	0,258	3,667	4,333
OS transversal	3,981	0,226	3,667	4,333

Waldkauz – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,313	0,024	0,267	0,333
OD horizontal	0,325	0,051	0,233	0,367
OS vertikal	0,326	0,032	0,300	0,367
OS horizontal	0,330	0,034	0,300	0,400
Vordere Augenkammer				
OD vertikal	5,300	0,141	5,100	5,500
OD horizontal	5,262	0,178	4,967	5,467
OS vertikal	5,243	0,147	5,000	5,533
OS horizontal	5,090	0,316	4,467	5,467
Linse axial				
OD vertikal	8,161	0,119	8,000	8,333
OD horizontal	8,263	0,175	8,067	8,467
OS vertikal	8,211	0,163	8,000	8,500
OS horizontal	8,186	0,042	8,100	8,233
Linse transversal				
OD vertikal	14,144	0,415	13,467	14,467
OD horizontal	14,380	0,257	14,000	14,633
OS vertikal	14,194	0,446	13,550	14,833
OS horizontal	14,271	0,381	13,767	14,967
Glaskörper axial				
OD vertikal	12,305	0,275	11,867	12,633
OD horizontal	12,258	0,348	11,667	12,633
OS vertikal	12,306	0,302	12,033	12,900
OS horizontal	12,333	0,312	12,067	12,900
Hintere Augenhaut				
OD vertikal	1,764	0,249	1,433	2,017
OD horizontal	1,787	0,363	1,000	2,133
OS vertikal	1,679	0,104	1,567	1,867
OS horizontal	1,780	0,188	1,533	2,133
Bulbus axial				
OD vertikal	27,780	0,407	27,133	28,267
OD horizontal	27,816	0,584	26,933	28,400
OS vertikal	27,796	0,407	27,267	28,533
OS horizontal	27,719	0,521	27,167	28,600
Pekten				
OD transversal	5,066	0,499	4,367	5,433
OS transversal	5,008	0,426	4,533	5,633

Steinkauz – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD vertikal	0,276	0,042	0,200	0,333
OD horizontal	0,295	0,045	0,200	0,333
OS vertikal	0,276	0,042	0,200	0,300
OS horizontal	0,293	0,036	0,233	0,350
Vordere Augenkammer				
OD vertikal	3,443	0,094	3,300	3,567
OD horizontal	3,410	0,118	3,267	3,567
OS vertikal	3,400	0,154	3,233	3,600
OS horizontal	3,417	0,154	3,167	3,667
Linse axial				
OD vertikal	5,567	0,225	5,100	5,767
OD horizontal	5,548	0,259	5,033	5,767
OS vertikal	5,505	0,241	5,500	5,700
OS horizontal	5,502	0,273	4,967	5,733
Linse transversal				
OD vertikal	9,648	0,251	9,367	9,900
OD horizontal	9,695	0,190	9,333	9,900
OS vertikal	9,571	0,252	9,233	9,933
OS horizontal	9,590	0,203	9,250	9,850
Glaskörper axial				
OD vertikal	8,257	0,192	8,067	8,633
OD horizontal	8,252	0,259	7,967	8,733
OS vertikal	8,348	0,191	8,167	8,700
OS horizontal	8,262	0,146	8,100	8,533
Hintere Augenhaut				
OD vertikal	1,114	0,159	0,933	1,333
OD horizontal	1,119	0,167	0,900	1,333
OS vertikal	1,148	0,188	0,967	1,500
OS horizontal	1,233	0,235	0,967	1,600
Bulbus axial				
OD vertikal	18,657	0,203	18,367	18,933
OD horizontal	18,624	0,181	18,433	18,933
OS vertikal	18,676	0,174	18,467	18,933
OS horizontal	18,707	0,172	18,533	19,000
Pekten				
OD transversal	4,286	0,372	3,733	4,733
OS transversal	4,171	0,209	3,833	4,433

Uhu – Distanzen in mm				
Messparameter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Kornea				
OD	0,378	0,019	0,367	0,400
OS	0,35	0,118	0,267	0,433
Vordere Augenkammer				
OD	7,600	0,130	7,450	7,683
OS	7,783	0,401	7,500	8,067
Linse axial				
OD	9,408	0,230	9,225	9,667
OS	9,517	0,159	9,333	9,617
Linse transversal				
OD	18,275	0,364	17,933	18,658
OS	18,439	0,439	17,950	18,800
Glaskörper axial				
OD	19,461	0,712	18,917	20,267
OS	19,192	0,816	18,708	20,133
Hintere Augenkammer				
OD	2,447	0,185	2,317	2,658
OS	2,382	0,071	2,333	2,433
Bulbus axial				
OD	38,717	1,458	37,267	40,183
OS	39,417	1,155	38,600	40,233
Pekten				
OD	7,406	0,084	7,317	7,483
OS	7,633	0,416	6,801	8,466

Vergleich ophthalmoskopischer, sonografischer und fotografischer Befunde

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
Mäusebussard (<i>Buteo buteo</i>, L.1758)				
4662	OD	obB	GF, GM, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	GF, GM, PL	nicht vorhanden
6247	OD	Ablatio retinae, Fibringerinnsel in Auflösung	Echogenes Material im Glaskörper, V.a. Ablatio retinae, GF, GM, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	GM, PL	nicht vorhanden
6595	OD	ggr. Hämorrhagia intravitreale	GM, PL, sehr ggr. echogenes Material im Glaskörper	GF, GM
	OS	Choroidale Blutungen, Hämorrhagia intravitreale	Echogenes Material in Glaskörper, PL, GM, GF	ggr. Glaskörpertrübung, GF, GM
6782	OD	Chorioretinitis maculosa, Fibrin im Glaskörper	ggr. echogenes Material im Glaskörper, GM, GF	Fibrin im Glaskörper, GF, GM
	OS	Partieller Pectenabriss, Chorioretinitis maculosa, Fibrin im Glaskörper	GF, PL, echogene Strukturen im Glaskörper mit Verbindung zu Pecten, V.a. Abriss	Fibrin im Glaskörper, partieller Abriss des Pekten
5182	OD	obB	GF, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
7166	OD	obB	GM, GF, PL	nicht vorhanden
	OS	hgr. choroidale Blutungen, Hämorrhagia intravitreale	PL, GM, post. Augenwand verdickt und nicht gut ab- grenzbar	nicht vorhanden
7730	OD	Hämorrhagia intravitreale	Ggr.-mgr. echogenes Material im Glaskörper, GF, GM, PL	Glaskörpertrübung, GM
	OS	obB	GM	GM
7862	OD	obB	GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
7916	OD	ggr. partielle Ruptur des Pekten, hgr. Hämorrhagia intravitreale, Fibrin im Glaskörper	hgr. echogenes Material im Glaskörper, z.T. Verbindung zum Pecten, GF, GM, PL	Glaskörpertrübung, part. Pektenruptur, GF, GM

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	hgr. Hämorrhagia intravitreale, Fibrin im Glaskörper	mgr.-hgr. echogenes Material im Glaskörper, GF, GM	Glaskörpertrübung, Hämorrhagia intravitreale
7888	OD	Blepharitis	PL, GF	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
7964	OD	Chorioretinitis maculosa disseminata, sehr ggr. Hämorrhagia intravitreale	GF, GM, PL	obB
	OS	Uveitis, ggr.-mgr. Hämorrhagia intravitreale, Pekten ggr. depigmentiert	Ggr. echogenes Material in Glaskörper, Glaskörper ggr. hypoechogen, GF, GM	ggr. Hämorrhagia intravitreale, GM
8036	OD	Sehr ggr. Cataracta immatura capsularis	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
8040	OD	obB	PL	GM
	OS	hgr. Hämorrhagia intravitreale, ggr. partielle Ablatio retinae	hgr. echogenes Material im Glaskörper, GM	Glaskörpertrübung, GM, Ablatio retinae
8072	OD	hgr. Hämorrhagia intravitreale, V.a. Ablatio retinae	mgr. echogenes Material im Glaskörper, V.a. Ablatio retinae, GF, GM	Glaskörpertrübung, Hämorrhagia intravitreale
	OS	ggr. Hämorrhagia intravitreale	Hypoechogenes Material im Glaskörper, ggr. Glaskörpertrübung	ggr. Hämorrhagia intravitreale, GM
8092	OD	ggr. Hämorrhagia intravitreale	Echogenes Material im Glaskörper, GF	Glaskörpertrübung, Hämorrhagia intravitreale, Fibrin
	OS	hgr. Hämorrhagia intravitreale	stark echogenes Material im Glaskörper, Traktionsamotio	hgr. Fibrin im Glaskörper, Traktionsamotio, Degeneration des Pekten
8145	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	GM, PL	nicht vorhanden
8199	OD	Sehr ggr. Hyphaema, V.a. Uveitis, hgr. Hämorrhagia intravitreale, Chorioretinitis maculosa disseminata	Echogenes Material im Glaskörper, Glaskörper ggr. hypoechogen, GM, GF, PL	Hämorrhagia intravitreale, Fibrin im Glaskörper, GM, GF
	OS	Choroidale Blutungen, ggr. Keratitis	GF, GM, PL	GM
8250	OD	obB	nicht untersucht	nicht vorhanden

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	hgr. Hämorrhagia intravitreale	PL, GM, mgr-hgr. echogenes Material im Glaskörper, Verbindung mit Pecten	nicht vorhanden
8189	OD	obB	GF, PL	GF, GM
	OS	obB	GF, PL	GF, GM
8292	OD	Abgeheilte Chorioretinitis maculosa focalis	GF, PL	GF
	OS	obB	GM, PL	obB
8196	OD	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata	GF, GM, PL	nicht vorhanden
	OS	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata, ggr. Glaskörpertrübung	GF, GM, PL	nicht vorhanden
8365	OD	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata	GF, GM, PL	GM
	OS	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata	GF, PL	GF, GM
8639	OD	obB	GF, PL	GF, GM
	OS	obB	obB	GF
8674	OD	obB	GM, PL	GM
	OS	Chorioretinitis maculosa focalis	PL	GF, GM
8723	OD	obB	GF, GM, PL	obB
	OS	ggr. Hämorrhagia intravitreale	ggr. Echogenes Material im Glaskörper, GF, GM,	ggr. Hämorrhagia intravitreale, GF, GM
8709	OD	hgr. Hämorrhagia intravitreale	Echogenes Material im Glaskörper, GM, GF	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
8743	OD	Abrasio corneae, Hornhautödem, hintere Synechie, Dyschorie	GM, PL, hintere Synechie	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
8745	OD	obB	PL, GM, (GF)	nicht vorhanden

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	obB	PL, GF	nicht vorhanden
8883	OD	Cataracta matura nuclearis et capsularis	GM, PL, Linsenkapsel hgr.verdickt und aufgeraut, Linsenstroma mgr. echogen	nicht vorhanden
	OS	Cataracta matura nuclearis et capsularis, Hämorrhagia intravitreale	GM, PL, Linsenkapsel hgr. verdickt und aufgeraut	nicht vorhanden
10362	OD	sehr ggr. Hämorrhagia intravitreale	PL, Linsenkapsel unruhig, GM	nicht vorhanden
	OS	Glaskörpertrübung, Chorioretinitis diffusa	GM, PL, minimale Hypocheogenität des GK	GM, Verletzung der vorderen Linsenkapsel
10410	OD	obB	GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
9261	OD	obB	PL, GM, (GF)	nicht vorhanden
	OS	obB	GM, PL	nicht vorhanden
7362	OD	obB	GM, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	GF, GM, PL	nicht vorhanden
4405	OD	obB	PL, GF,	nicht vorhanden
	OS	obB	GF, GM, PL	nicht vorhanden
10438	OD	Frisches Hyphaema	GF, GM, hypoechogenes Material in vorderer Augenkammer	nicht vorhanden
	OS	obB	nicht vorhanden	nicht vorhanden

Sperber (*Accipiter nisus*, L. 1758)

6274	OD	obB	GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
6669	OD	obB	obB	obB
	OS	obB	GM	GM
6800	OD	obB	obB	obB
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
6876	OD	obB	obB	obB

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	obB	obB	obB
7556	OD	Abgeheilte Chorioretinitis maculosa disseminata	obB	obB
	OS	mgr. Hämorrhagia intravitreale, partieller Abriss des Pecten	mgr. echogene Strukturen im Glaskörper mit Verbindung zum Pecten, GM	Hämorrhagia intravitreale, partieller Abriss des Pecten
7613	OD	Subretinale Einblutungen	GM	nicht vorhanden
	OS	hgr. Hämorrhagia intravitreale	ggr. echogenes Material im Glaskörper, GM	nicht vorhanden
7794	OD	obB	GF	GF
	OS	hgr. ältere Hämorrhagia intravitreale	Mgr. echogenes Material im Glaskörper, GF	Hämorrhagia intravitreale, GF
8093	OD	obB	GF	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
8416	OD	ggr. Hämorrhagia intravitreale	Glaskörpertrübung, GF	Hämorrhagia intravitreale, GF
	OS	ggr. Hämorrhagia intravitreale	sehr ggr. echogenes Material im Glaskörper	Hämorrhagia intravitreale
10787	OD	obB	GM, PL	GM
	OS	ggr. ältere Hämorrhagia intravitreale	Sehr ggr. echogenes Material im Glaskörper, GM	Hämorrhagia intravitreale
10611	OD	obB	GF	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
10583	OD	obB	GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden

Habicht (*Accipiter gentilis*, L. 1758)

7235	OD	obB	PL	GM
	OS	obB	GM, PL	GM
8391	OD	obB	PL	GM, Depigmentierung Pecten
	OS	obB	GM, PL	GF, GM

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
Turmfalke (<i>Falco tinnunculus</i>, L. 1758)				
6226	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
6248	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
6271	OD	obB	PL, GF, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
6282	OD	obB	GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
6452	OD	obB	PL, GF	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GF, GM	nicht vorhanden
6490	OD	obB	PL, GM	GM
	OS	sehr ggr. Hämorrhagia intravitreale	PL, (GF)	GM
6419	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
6482	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
6496	OD	obB	PL	obB
	OS	obB	PL, GM	GM
6542	OD	obB	obB	GF, GM
	OS	obB	obB	GM
6557	OD	obB	PL, GM	GM
	OS	obB	PL, GM	GM
6420	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
6749	OD	obB	PL, GM	GM

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	obB	PL	obB
6778	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
6876	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	GF	nicht vorhanden
7354	OD	Keratitis	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	Hornhautödem	PL	nicht vorhanden
7406	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
8157	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
8650	OD	obB	PL, GM	GM
	OS	obB	GM	GM
8735	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
9929	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
9491	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
9983	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
10181	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, (GM)	nicht vorhanden
10232	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
10209	OD	obB	PL	nicht vorhanden

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
10258	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
10236	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
10157	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
10450	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	GM	nicht vorhanden
10712	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
10713	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
10598	OD	obB	nur p.m	nicht vorhanden
	OS	obB	Nicht vorhanden	nicht vorhanden
11056	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, GM	nicht vorhanden
11319	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	Nicht vorhanden	nicht vorhanden
11384	OD	obB	PL, GM	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, (GM)	nicht vorhanden
11388	OD	obB	PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden

Schleiereule (*Tyto alba*, L. 1758)

6664	OD	ggr.-mgr. Hämorrhagia intravitreale	ggr. Hypoechogenität des GK	nicht vorhanden
------	----	----------------------------------------	-----------------------------	-----------------

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	ggr.-mgr. Hämorrhagia intravitreale	ggr. Hypoechogenität des GK	nicht vorhanden
7102	OD	obB	LL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL	nicht vorhanden
7103	OD	obB	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
7104	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	PLZ	nicht vorhanden
7105	OD	obB	PLZ	nicht vorhanden
	OS	obB	LAK	nicht vorhanden
7253	OD	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata, Korneaödem	PLZ, LAK	nicht vorhanden
	OS	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata, Korneaödem	PLZ	nicht vorhanden
7288	OD	obB	PL	obB
	OS	obB	PL	obB
7722	OD	obB	obB	obB
	OS	obB	obB	obB
8065	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	hgr. Chorioretinitis, hgr. Hämorrhagia intravitreale	GM, Hintere Augenwand z.T. rau (Sono erst nach Resorption der GK-Blutung)	nicht vorhanden
9913	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
9914	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	post. Augenwand rau	nicht vorhanden
9915	OD	obB	vordere Linsenkapsel rau	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
9633	OD	hgr. Chorioretinitis maculosa disseminata	obB	Chorioretinitis maculosa disseminata
	OS	hgr. Chorioretinitis maculosa disseminata	obB	Chorioretinitis maculosa disseminata
9632	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
10151	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
10517	OD	obB	post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden

Waldohreule (*Asio otus*, L. 1758)

6249	OD	obB	LL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL	nicht vorhanden
6597	OD	obB	LL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL	nicht vorhanden
7620	OD	Choroidale Blutungen, ältere Hämorrhagia intravitreale	PL, Glaskörper posterior ggr. hypoechogen	nicht vorhanden
	OS	ältere Hämorrhagia intravitreale, Fibrin, Glaskörpertrübung	LL, ggr. echogenes Material im Glaskörper	nicht vorhanden
7685	OD	ggr. Hyphaema, hintere Synechie, Chorioretinitis maculosa disseminata	Ggr. echogenes Material in vorderer Augenkammer, PL, GM	obB
	OS	ggr. abgeheilte Chorioretinitis maculosa disseminata	PL, GM	obB
7759	OD	ggr. Fibrin im Glaskörper	ggr. echogenes Material im Glaskörper	nicht vorhanden
	OS	ggr. Fibrin im Glaskörper	GM, PLZ	nicht vorhanden
7670	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	obB	Hintere Augenwand rau	nicht vorhanden

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
7952	OD	ggr. Hyphaema	echogenes Mat in vorderer Augenkammer, LL, PLZ, GM	nicht vorhanden
	OS	ggr. Hyphaema, ggr. Hämorrhagia intravitreale	echogenes Material in vorderer Augenkammer, GM, PLZ	nicht vorhanden
8451	OD	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata	obB	obB
	OS	obB	obB	obB
11411	OD	Keratitis, hgr. Chorioretinitis maculosa disseminata	LL	nicht vorhanden
	OS	Keratitis	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
11412	OD	dorsal hgr. Chorioretinitis maculosa disseminata	GF	nicht vorhanden
11413	OD	obB	LL, LAK	nicht vorhanden
	OS	obB	LL	nicht vorhanden
Waldkauz (<i>Strix aluco</i>, L. 1758)				
6424	OD	obB	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	LL, PL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
6541	OD	hgr. Hyphaema, IOP hgr. reduziert	hgr. Hyphaema und Hämorrhagia intravitreale, Luxatio lentis anterior	Hämophthalmus, Lux. lentis anterior, Blubusruptur
	OS	ggr. Hämorrhagia intravitreale, ggr. Fibrin in vorderer Augenkammer	ggr. hypoechogenes Material im Glaskörper, PL	Fibrin im Glaskörper
7683	OD	abgeheilte Chorioretinitis maculosa disseminata	GF	obB
	OS	abgeheilte Chorioretinitis maculosa disseminata	obB	obB
7876	OD	obB	post. Augenwand rau	obB
	OS	obB	PL	obB
8407	OD	Retinaödem	Anhebung der hinteren Augewand	nicht vorhanden

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
	OS	postinflamm. Hyperpigmentierung	obB	nicht vorhanden
8452	OD	obB	PL	GM
	OS	ggr. Hyphaema, Abrasio corneae	ggr. hypoechogenes Material in vorderer Augenkammer, PL	Fibrin in vorderer Augenkammer
8445	OD	ggr. Chorioretinitis maculosa disseminata	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	hgr. Chorioretinitis maculosa disseminata	obB	nicht vorhanden
8734	OD	Linsenpyknose, gelöste hintere Synechie, Subluxatio lentis posterior	Linsenpyknose, Subluxatio lentis posterior, post. Augenwand rau	Linsenpyknose, gelöste hintere Synechie, Subluxatio lentis post.
	OS	obB	post. Augenwand rau	obB
9868	OD	obB	LL, PL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	PL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
9869	OD	obB	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
9546	OD	ggr. Fibrin in vorderer Augenkammer, abgeheilte Chorioretinitis maculosa	LL, ggr. hypoechogenes Material in vorderer Augenkammer	nicht vorhanden
	OS	ganz ggr. Fibrin in vorderer Augenkammer, abgeheilte Chorioretinitis maculosa	obB	nicht vorhanden
9865	OD	Cataracta hypermatura	LL, PL, Linsenkapsel rau und ggr. verdickt, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	Cataracta hypermatura	PL, Linsenkapsel rau und verdickt	nicht vorhanden
9866	OD	Cataracta hypermatura, V.a. Kapselruptur	Linsenkapsel verdickt und unruhig, Zusammenhangstrennung, asteroide Hyalose, GM	Kapselruptur, asteroide Hyalose
	OS	Cataracta hypermatura, V.a. Kapselruptur, hintere Synechie	Linsenkapsel verdickt und rau, Zusammenhangstrennung, Subluxatio lentis posterior, asteroide Hyalose, GM	Kapselruptur, Subluxatio lentis posterior, asteroide Hyalose

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
9870	OD	obB	LL, PL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
10224	OD	obB	obB	nicht vorhanden
	OS	Uveitis anterior, Subluxatio lentis anterior, IOD hgr. reduziert	einzelne okuläre Strukturen nicht darstellbar	Hyphaema, Linsenkapselruptur, Luxatio lentis, Einblutung Ziliarkörper, Iridodialysis
11414	OD	obB	LL, PL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	LL, PL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
11415	OD	obB	LL, PL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
	OS	obB	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
11416	OD	obB	LL, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL, post. Augenwand rau	nicht vorhanden
Steinkauz (<i>Athene noctua</i>, L. 1758)				
7208	OD	obB	LL	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
7209	OD	obB	LL, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	PL	nicht vorhanden
8529	OD	obB	LL, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL, PL	nicht vorhanden
8530	OD	obB	LL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL	nicht vorhanden
8531	OD	obB	LL, PL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL	nicht vorhanden
8532	OD	obB	LL	nicht vorhanden
	OS	obB	obB	nicht vorhanden
9871	OD	obB	LL	nicht vorhanden
	OS	obB	LL	nicht vorhanden

St.Nr.	Auge	Ophthalmoskopie	Sonografie	Fotografie
00000	OD	obB	nicht untersucht	nicht vorhanden
	OS	Iriskolobom	LL, Kolobom nicht darstellbar	nicht vorhanden
Uhu (<i>Bubo bubo</i>, L. 1758)				
7106	OD	obB	PL, hintere Augenwand rau	Nicht vorhanden
	OS	obB	PL, hintere Augenwand rau	Nicht vorhanden
7212	OD	hgr. Chorioretinitis maculosa disseminata	GM, PL, hintere Augenwand fokal verdickt	Nicht vorhanden
	OS	hgr. Chorioretinitis maculosa disseminata	obB	Nicht vorhanden
9499	OD	obB	obB	Nicht vorhanden
	OS	obB	obB	Nicht vorhanden
10838	OD	Cataracta capsularis focalis anterior	fokale hypoechogene Struktur posterior der vorderen Linsenkapsel	Nicht vorhanden
	OS	Cataracta capsularis focalis anterior	fokale hypoechogene Struktur posterior der vorderen Linsenkapsel	Nicht vorhanden
10675	OD	obB	PL	Nicht vorhanden
	OS	obB	PL	Nicht vorhanden

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Korbel für die Überlassung dieses interessanten und spannenden Themas, für die Einführung in die ophthalmologischen Untersuchungstechniken beim Vogel, für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes und des Instrumentariums, für seine Unterstützung bei der Aufarbeitung außergewöhnlicher Augenpatienten und die sorgfältige Durchsicht der schriftlichen Ausführung meiner Arbeit.

Bei Frau Dr. Heike Hufen möchte ich mich für ihre engagierte Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen, angeregte Diskussionen und die Durchsicht und Korrektur der schriftlichen Ausarbeitung bedanken.

Frau Prof. Dr. Karin Werther von der Universität São Paulo danke ich für die Unterstützung und die nette Zusammenarbeit bei der Anfertigung der post mortem untersuchten Präparate und Fotografien.

Bei Herrn PD Dr. Reese möchte ich mich für seine Einführung in die okulare Sonografie und seine Anleitung zur richtigen Durchführung einer sonografischen Untersuchung des Auges bedanken.

Frau Mahling vom Statistischen Beratungslabor der Ludwig-Maximilians-Universität danke ich für ihre freundliche und oft auch sehr kurzfristig erreichbare Hilfe bei der statistischen Auswertung der erhobenen Daten.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Holzer von der Arbeitsgemeinschaft Greifvogel- und Eulenschutz in Bayern e.V. (AGES) für seine unschätzbare Hilfe bei der Bereitstellung von Greifvögeln und Eulen. Ohne sein herausragendes Engagement und seine große Hilfsbereitschaft wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Sascha und Daniela Kuchenbaur vom Vogelpark Olching danke ich ebenfalls für die Bereitstellung von Eulen für die sonografische Untersuchung.

Bei Martina Rzepka möchte ich sehr für ihre Hilfe bei der Einführung in die ophthalmologische Untersuchung beim Vogel und ihre ständige Bereitschaft bedanken, unklare Augenbefunde zu überprüfen und bei einer endgültigen Diagnosestellung zu helfen.

Allen anderen Mitarbeitern der Vogelklinik, die ich hier nicht namentlich genannt habe, möchte ich von ganzem Herzen für die wunderbare gemeinsame Zeit danken, während der ich viel gelernt habe und an die ich mich stets gerne zurückerinnern werde.

Schließlich gilt meinem Freund Asarnusch Rashid, meiner Familie, sowie Parvin und Mehdi Rashid ein riesengroßes Dankeschön für ihre immerwährende Unterstützung, ihr Verständnis und ihr Mitleiden, Mitfiebern und Mitfreuen während der Durchführung und der Fertigstellung dieser Arbeit.