

2 Literaturübersicht

2.1 Die Retina der Katze

2.1.1 Embryologie der Katzenretina

Die Netzhaut oder Retina ist die innerste Schicht (Tunica interna) des Auges und stellt die photosensible Schicht dar. Embryonal entwickelt sich die Retina aus dem Neuroektoderm durch Ausstülpung des Zwischenhirns. Das Neuroektoderm formt sich zunächst zur primären Augenblase, die sich dann einstülpt und zum doppelwandigen Augenbecher wird. Dessen hintere vier Fünftel entwickeln sich zur Pars optica retinae, das vordere Fünftel zur Pars caeca retinae (AGUIRRE et al., 1972; O'RAHILLY, 1975; WILSON, 1980; HOAR, 1982; CHOW und LANG, 2001).

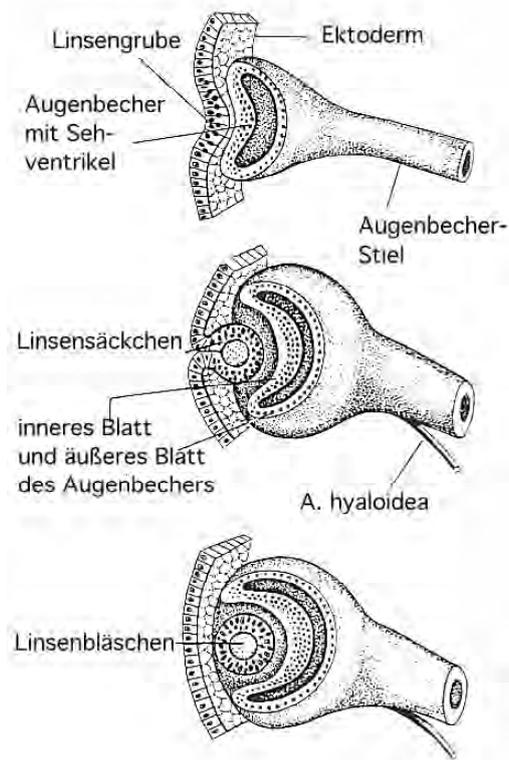


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Entwicklung des Auges beim Säuger (SCHNORR, 1996)

Mit der Einstülpung der Augenblase wird die innere, nicht pigmentierte Schicht nach außen gegen die äußere, pigmentierte Schicht bewegt, die ihrerseits nach innen gedrängt wird. Daher liegen die Oberflächen beider Schichten in direktem Kontakt (HOAR, 1982).

Das äußere einschichtige Blatt des Augenbechers im Bereich der Pars optica retinae differenziert sich zum Pigmentepithel (Stratum pigmentosum), während aus dem inneren Blatt durch zahlreiche Mitosen eine vielschichtige Nervenzellschicht (Stratum nervosum) entsteht. Die primitiven Zellen des Augenbechers sind zunächst säulenförmig, werden aber beim Hund bereits am 20. Trächtigkeitstag kuboid und enthalten die ersten Melaningranula. Etwa um den 45. Trächtigkeitstag haben die retinalen Epithelzellen einen sechseckigen Querschnitt und entwickeln Mikrovilli, die sich mit Projektionen aus den Photorezeptoren der nicht pigmentierten (d.h. inneren) Schicht der Augenblase verzahnen (AGUIRRE et al., 1972).

Das retinale Primordium besteht aus einer nach außen gerichteten, zentralen und einer inneren, randständigen Zone. Die Zellproliferation findet in dem zentralen Bereich statt, und von hier aus wandern die Zellen nach marginal. Auch die Richtung der Differenzierung verläuft von zentral nach marginal. Durch diese Prozesse entstehen die inneren und äußeren Neuroblastschichten, die durch ihre Fortsätze voneinander getrennt sind (O'RAHILLY, 1975; CHOW und LANG, 2001).

Zunächst bilden sich die retinalen Ganglionzellen innerhalb der inneren Neuroblastenschicht, und die Axone der Ganglienzellen bilden gemeinsam den N. opticus. Die Zellkörper der Müller' und amakrinen Zellen differenzieren sich im inneren Bereich der äußeren Neuroblastschicht. Die horizontalen Zellen befinden sich in der Mitte dieser Schicht. Zuletzt reifen die bipolaren Zellen und Photorezeptoren in der äußeren Zone der Retina (SPIRA und HOLLENBERG, 1973).

2.1.2 Anatomie und Histologie

Das Pigmentepithel erstreckt sich vom Rand der Papille über den Ziliarkörper entlang der Irishinterfläche bis zum Pupillarrand. Das Innenblatt als sensorischer Netzhautanteil

reicht vom Ziliarkörper bis zur Papilla optica und geht hier in den N. opticus über. Die Netzhaut ist nur an der Papille und an der Ora serrata mit der Unterlage anatomisch fest verbunden. Durch den Glaskörper wird sie in Position gehalten (TREVOR-ROPER, 1974; MACMILLAN, 1980).

Die Zellen der sensorischen Netzhaut lassen sich in drei Hauptgruppen (Neurone) mit jeweils verschiedenen Nervenzellschichten unterteilen (Abbildung 2):

1. Neuron: Photorezeptorschicht aus Stäbchen und Zapfen
2. Neuron: bipolare und amakrine Zellen sowie Horizontalzellen
3. Neuron: Ganglienzellen (DOWLING und BOYCOTT, 1970; KOLB et al., 1992)

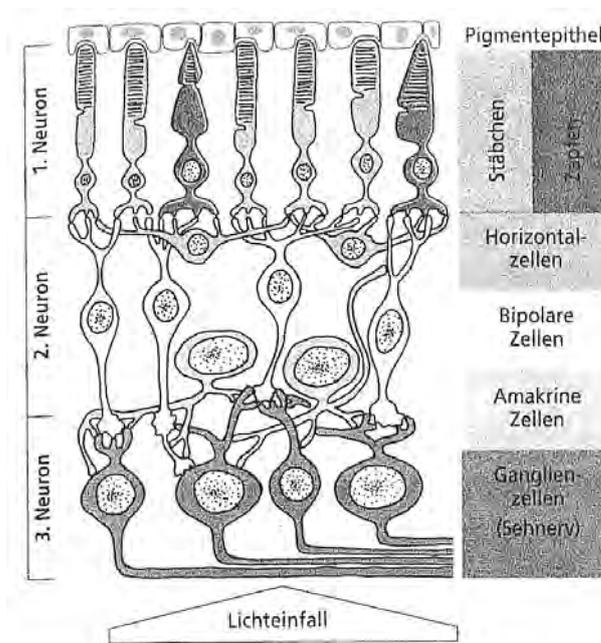


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Netzhaut (VON ENGELHARDT und BREVES, 2000)

Das erste Neuron, die Photorezeptorschicht, setzt sich aus Stäbchen und Zapfen zusammen, deren Aufgabe darin besteht, Lichtimpulse in elektrische Signale umzuwandeln. Stäbchen sind für das Sehen im Dunkeln zuständig und reagieren empfindlich auf Bewegungen. Zapfen dienen dem Farbsehen und der Detailerkennung (POLYAK,

1941; WEIDMAN, 1973; AGUIRRE und O'BRIEN, 1986; KOLB et al., 1992; KOLB, 1997). Die Dichte der Stäbchen beträgt bei der Katze etwa 460 000 Zellen/mm², beim Menschen dagegen nur 150 000 Zellen/mm². Dies erklärt die überlegene Fähigkeit der Katzen, sich in der Dunkelheit zu orientieren. Umgekehrt besitzt der Mensch ein ausgeprägteres Vermögen zum Farbsehen: Die Zapfendichte der menschlichen Retina beläuft sich auf 199 000 Zellen/mm², bei der Katze sind es nur 27 000 Zellen/mm² (MARTIN, 1994; NARFSTROM, 1999).

Die Stelle des besten Sehens (Area centralis oder Macula) bei der Katze befindet sich temporal der Papilla nervi optici und weist die größte Konzentration an Zapfen auf (STEINBERG et al., 1973). Beim Menschen entspricht der Area centralis die Macula lutea („gelber Fleck“). Charakteristisch bei der Katze ist das Fehlen von großen Blutgefäßen in diesem Bereich. Ophthalmoskopisch lassen sich kleine Arteriolen, Kapillaren und Venolen darstellen, die eine runde bis ovale Macula umgeben (DE SCHAEPDRIJVER, 1993).

Zur Peripherie der Netzhaut nimmt die Anzahl der Stäbchen zu. Bei weitgestellter Pupille sind demzufolge die Stäbchen gut vom einfallenden Licht erreichbar. In den unter der Photorezeptorschicht gelegenen Nervenzellschichten werden die elektrischen Impulse verarbeitet und gebündelt, um dann zum Sehnerv weitergeleitet zu werden (AGUIRRE et al., 1972; STEINBERG et al., 1973).

Als zweites Neuron werden die Bipolar-, Horizontal- und Amakrinzellen bezeichnet. Hierbei stellen die Bipolarzellen die Verbindung zwischen Photorezeptoren und Ganglionzellen dar. Eine Bipolarzelle kann mehrere Photorezeptoren koppeln (WEIDMAN, 1973). Man unterscheidet „ON“-Bipolare, die bei Stimulation depolarisieren, von „OFF“-Bipolaren, die mit einer Hyperpolarisation auf eine Stimulierung reagieren (MARCHIAFAVA und TORRE, 1978).

Untereinander werden die bipolaren Zellen durch Horizontalzellen verbunden, von denen es bei der Katze die zwei morphologisch unterschiedlichen Typen A und B gibt: Im Gegensatz zum axonlosen A-Typ verfügt der B-Typ über ein terminales Axonsystem, das sich über eine Fläche erstreckt, die 1,5-2mal größer ist als die von den parentalen Dendriten bedeckte Fläche. Ein einzelnes Axonsystem verzweigt sich zwischen bis zu 3000 Stäbchensystemen. Die Dendriten der beiden Zelltypen A und B inserieren in die pedikuläre Zone der Stäbchen. Die Funktion der Horizontalzellen besteht in einer räum-

lichen und zeitlichen Integration der empfangenen Informationen (LEICESTER und STONE, 1967; FISHER und BOYCOTT, 1974; BOYCOTT, 1988).

Die sogenannten amakrinen Zellen kontaktieren mit Bipolar- und Ganglienzellen. Es handelt sich um einen Oberbegriff für zahlreiche axonlose Zelltypen mit unterschiedlicher Morphologie, Neurotransmittergehalt, neuronalen Schaltkreisen und physiologischer Lichtantwort (KOLB, 1997). Für die Katze wurden beispielsweise neun verschiedene amakrine Zelltypen identifiziert (KOLB, 1997).

Als drittes Neuron ist die Ganglienzellschicht zu nennen. Deren genaue zelluläre Zusammensetzung ist noch nicht vollständig aufgeklärt. Zunächst wurden zwei Zelltypen beobachtet: Die α -Zellen mit einem großen Soma stellen ebenso wie die mittelgroßen β -Zellen einen morphologisch und physiologisch einheitlichen Zelltyp dar (WÄSSLE et al., 1983). Es entspricht dem unterschiedlichen Verteilungsmuster der Stäbchen und Zapfen auch eine regional abweichende Nervenzellverteilung: Im temporalen Retinaabschnitt der Katze sind die Ganglienzellen durchschnittlich größer als im nasalen Bereich. Dies liegt einerseits an einer absoluten Zunahme der Größe von α - und β -Ganglienzellen in der temporalen Retina, aber andererseits auch an einer Steigerung der Anzahl von anderen Zellen (STONE et al., 1980).

Mit Fortschritten der histologischen und immunhistochemischen Darstellungsmöglichkeiten nahm auch die Zahl bekannter Ganglienzellen zu: Derzeit sind bei der Katze elf Typen bekannt, wobei allerdings über die Zusammenhänge zwischen morphologisch erkennbaren Varianten und vermuteten funktionellen Unterschieden noch keine Klarheit besteht (ROCKHILL et al., 2002).

2.1.3 Augenhintergrund

Bei ophthalmoskopischen Untersuchungen zeigt sich im Augenhintergrund der Katze ein großes Tapetum lucidum, in dem die Sehnervenpapille sichtbar ist. Das Tapetum ist bei Katzen immer vorhanden und variiert farblich zwischen gelb, blau und blaugrün, mit Ausnahme bei weißen blauäugigen Katzen, wo lediglich ein tigroider Fundus zu erkennen ist. Die Farbe des Tapetum wird durch Rasse, Spezies, Alter und Pigmentmenge beeinflusst. Bei Spezies, die mit unreifen Augen geboren werden, wie beispielsweise Hund und Katze, entwickelt sich das Tapetum erst nach der Geburt bis zum vier-

ten Lebensmonat. Bei Nestflüchtern, wie Pferden und Klautieren, ist es dagegen schon bei der Geburt vollständig ausgebildet. Im Zentrum besteht das Tapetum aus 15-20 Zellschichten, in der Peripherie und der Sehnervumgebung ist dagegen nur eine Schicht oder eine Lamelle vorhanden (BERGSMA und BROWN, 1971; BRAEKEVELT, 1990).

Die Sehnervpapille ist pfirsichfarben bis dunkelbraun und rund. Alle Gefäße entspringen am Rand der Papille. Es lassen sich in der Regel jeweils drei venöse und arterielle Hauptäste unterscheiden, die dorsonasal-temporal, ventronasal und ventrotemporal verlaufen. Dorsotemporal der Papille befindet sich die Area centralis, die nahezu gefäßfrei ist (DE SCHAEPDRIJVER, 1993).

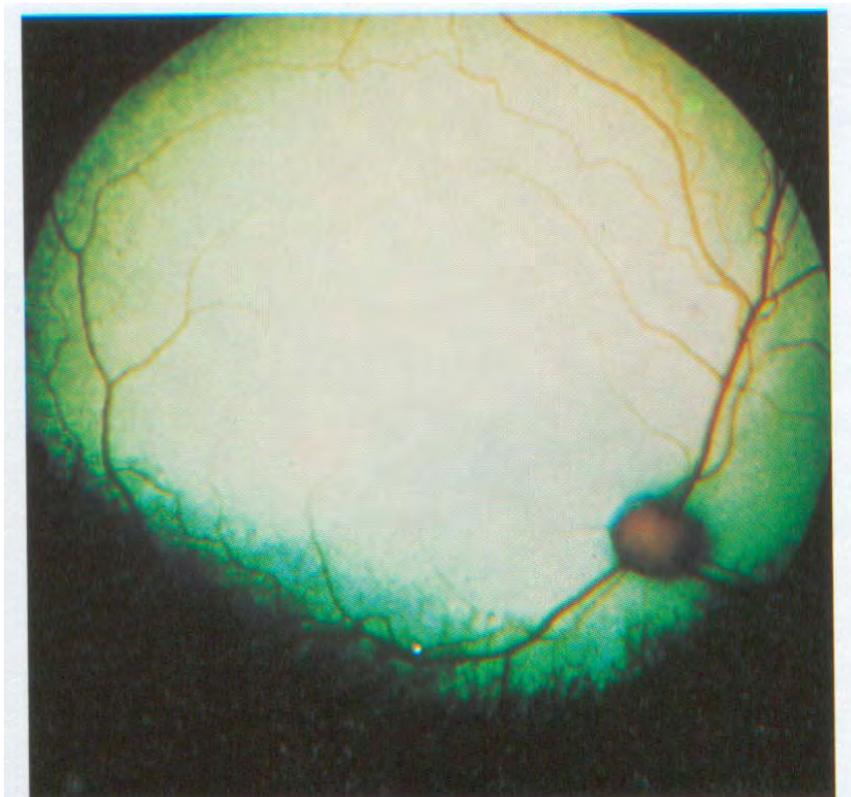


Abbildung 3: Normaler Fundus einer Katze (Weitwinkel Aufnahme) (MARTIN, 1994)

2.1.4 Pathologische Veränderungen der Netzhaut bei der Katze

Bei den Netzhauterkrankungen unterscheidet man zwischen angeborenen und erworbenen Veränderungen.

Erbliche Retinadegenerationen kommen eher selten vor. Hauptsächlich bei Abessinierkatzen ist eine Photorezeptorendegeneration nachgewiesen worden, die in zwei Formen auftritt. Eine autosomal dominante Retinadysplasie kann bereits bei vier Wochen alten Katzenwelpen durch Mydriasis und Nystagmus erkannt werden. Diese Form verläuft rasch progredient, so dass bereits in der 8.-12. Lebenswochen kaum noch einzelne Fundusstrukturen unterschieden werden können (LEON und CURTIS, 1990). Die zweite Form wird autosomal rezessiv vererbt und erst im Alter von 1,5-2 Jahren klinisch manifest und verschlechtert sich langsam fortschreiten innerhalb der nächsten 2-4 Jahre (BARNETT, 1982; NARFSTROM, 1986; GORIN et al., 1995).

Auch bei jungen Perserkatzen und Katzenmischlingen ist eine angeborene Photorezeptoren-Dysplasie in Einzelfällen beschrieben worden (RUBIN und LIPTON, 1973).

Als weitere Ursachen für eine „angeborene“ feline Retinadegeneration werden intrauterine oder neonatale virale Infektionen angenommen, wie beispielsweise die Panleukopenie (MACMILLAN, 1980; GREENE et al., 1982) und FeLV (GLAZE und GELATT, 1999).

Zu den erworbenen Netzhauterkrankungen gehört unter anderem die Netzhautablösung (Ablatio retinae) aber auch Degenerationen, deren Grundursache häufig eine Allgemeinerkrankung ist. Beispiele hierfür sind FIP (CAMPBELL und SCHIESSL, 1978), FeLV-Komplex (CAMPBELL und SCHIESSL, 1978; BRIGHTMAN et al., 1991), FIV (HOPPER et al., 1989), Toxoplasmose (CAMPBELL und SCHIESSL, 1978) und systemische Mykosen (BREIDER et al., 1988; GREENE und TROY, 1995).

Weitere Allgemeinerkrankungen wie beispielsweise Bluthochdruck infolge Nephritis oder Thyreose, Blutungen aufgrund von Traumata, Vergiftungen, Anämien, Gerinnungsstörungen, Hypertension, Diabetes mellitus, Thrombozytämie oder autoimmunhämolytische Anämien zu Retinopathien, teilweise bis zur Netzhautablösung, führen (HERRTAGE et al., 1985; SCHMIDT und HORZINEK, 1993; GLAZE und GELATT, 1999).

Ebenfalls zu den erworbenen Netzhauterkrankungen zählt eine alimentär bedingte Retinopathie. Diese wird durch einen Taurinmangel verursacht, welches Katzen nicht genügend selbst produzieren können. Taurin spielt unter anderem eine wichtige Rolle beim Stoffwechsel der Photorezeptoren. Die Ätiologie der alimentär bedingten Retinopathie wurde bei Katzen aufgedeckt, die ausschließlich mit (Taurin-defizientem) Hundefutter ernährt wurden (AGUIRRE, 1978). Seit der Supplementierung kommerziellen Katzenfutters mit Taurin ist diese Form der Retinopathie selten geworden (GLAZE und GELATT, 1999), sie wird jedoch noch gelegentlich bei solchen Tieren gefunden, die vegetarisch oder mit selbstzubereitetem Futter ernährt werden (PICKETT et al., 1990).

Beschrieben ist weiterhin eine Netzhautatrophie aufgrund einer Enrofloxacin-intoxikation. Klinisch zeigte sich eine Mydriasis innerhalb von zwei Tagen bis zwölf Wochen nach Enrofloxacin-Verabreichung, gefolgt von einer Erblindung. Die histologische Untersuchung zweier Augen zeigte einen diffusen Verlust der äußeren Körner- und der Photorezeptorschicht und eine Proliferation des retinalen Pigmentepithels (GELATT et al., 2001). Auch wenn die Intoxikation selten, bei etwa einer von 100 000 Katzen auftritt, konnte durch die Auswertung zahlreicher Kasuistiken folgendes Risikoprofil erstellt werden: Eine Gefährdung besteht 1. bei der Verabreichung hoher Dosen beziehungsweise bei Erreichen hoher Plasmakonzentrationen, 2. schneller intravenöser Gabe, 3. verlängerter Behandlungsdauer und 4. bei Katzen in höherem Lebensalter (GELATT et al., 2001; WIEBE und HAMILTON, 2002; WILSON, 2002; STADTBÄUMER und NELL, 2003).

2.2 Die optische Kohärenztomographie (OCT)

2.2.1 Prinzipien

Basierend auf den grundlegenden Untersuchungen der Arbeitsgruppe FERCHER (FERCHER et al., 1988; FERCHER et al., 1991; FERCHER et al., 1993) wurden in Zusammenarbeit des Massachusetts Institute of Technology und der Tufts-Universität in Boston die ersten OCT-Geräte entwickelt (HUANG et al., 1991; PULIAFITO et al., 1995).

Das Prinzip der optischen Kohärenztomographie ist die Interferometrie mit kohärentem Licht. Als Lichtquelle dient eine Superlumineszenzdiode, die Licht einer Wellenlänge

von 850 nm mit einer Bandbreite von etwa 20 nm emittiert (HUANG et al., 1991; PULIAFITO et al., 1995). Da diese Wellenlänge nahezu dem infraroten Bereich entspricht, blendet das OCT nicht und ist für den menschlichen Patienten nur mit minimalem Unbehagen verbunden (RIPANDELLI et al., 1998).

Der austretende Lichtstrahl wird zweigeteilt: ein Teil gelangt als Messstrahl zum Untersuchungsobjekt, der andere Teil bildet den Referenzstrahl. Dieser wird von einem Referenzobjekt (Spiegel) reflektiert. Das vom Objekt rückgestreute Licht gelangt gemeinsam mit dem im Referenzstrahlengang reflektierten Signal zu einem Detektor (GÖBEL et al., 2001).

Durch Variation der Referenzlänge ist es möglich, die Reflexionskomponenten aus den unterschiedlichen Tiefen des Gewebes in der z-Achse präzise zuzuordnen und ein axiales Reflexionsprofil an einem Punkt der Netzhaut zu erstellen (GÖBEL et al., 2001). Bis hierher ist das Messprinzip dem ultrasonographischen A-Scan vergleichbar, durch zahlreiche Messwiederholungen in sehr kurzen Abständen entlang einer Linie oder einem Kreis kann ein dem B-Scan entsprechendes zweidimensionales Bild berechnet werden (GÖBEL et al., 2001; SCHAUDIG, 2001). Jedes dieser Tomogramme wird aus einer Serie von 100 A-Scans zusammengesetzt, die in einer Sekunde erstellt werden (BAUMAL, 1999).

Die longitudinale Auflösung des für die vorliegende Untersuchung verwendeten OCT's beträgt 14 μm im freien Raum, was 10 μm im Gewebe entspricht (HUANG et al., 1991; FUJIMOTO et al., 1995; HEE et al., 1995a). Hiermit ist die Auflösung um den Faktor 10 besser als in der konventionellen Ophthalmosonographie im Realtime-B-Mode (HUANG et al., 1991). Die seitliche Auflösung ist durch Beugung auf maximal 25 μm limitiert (CHAUHAN und MARSHALL, 1999) und hängt mit der Scan-Länge zusammen: Je größer die Scan-Länge gewählt wird, desto geringer ist die seitliche Auflösung (HRYNCHAK und SIMPSON, 2000).

Die gemessenen Reflektivitäten werden extrapoliert und bestimmten Farben zugordnet: Niedrige Reflektivitäten werden dabei schwarz über blau bis grün, hohe Reflektivitäten rot über gelb bis weiß kodiert (SCHAUDIG, 2001).

Das Gerät ist mit einer 78-Dioptrien-Kondensorlinse ausgestattet, die bei dilatierter Pupille die Messung in einem Areal von 35° ermöglicht (RIPANDELLI et al., 1998).

2.2.2 Korrelation histologischer Befunde mit OCT-Schnittbildern der Retina

Zur korrekten Interpretation von OCT-Schnittbildern war es erforderlich, diese mit histologischen Präparaten zu vergleichen. Dazu wurden vor allem Versuche an Affen gemacht, deren Netzhaut mit Laserstrahlen Läsionen zugefügt wurden. Anschließend hat man zu unterschiedlichen Zeitpunkten OCT-Schnittbilder angefertigt, um dann nach einem bestimmtem Zeitraum am enukleierten Auge ein histologisches Präparat anzufertigen und mit den OCT-Ergebnissen zu vergleichen (TOTH et al., 1997). Auf Grund einer guten Übereinstimmung der Darstellungen beider Untersuchungsverfahren konnte die Eignung des OCT zunächst am Auge des Affen als nicht-invasives bildgebendes Diagnostikum bestätigt werden. Auch die Untersuchung der Retina von Hühnern (HUANG et al., 1998) und Kaninchen (GE et al., 1999) ohne vorherige Laserexposition mit Hilfe der optischen Kohärenztomographie und anschließender histologischer Untersuchung bestätigte die gute Korrelation zwischen histologischen und OCT-Aufnahmen.

Dennoch darf man nicht aus dem Blickwinkel verlieren, dass OCT-Aufnahmen immer nur die Reflektions-Eigenschaften des untersuchten Gewebes „abbilden“. Diese können mit der Histologie korreliert werden und stellen eine Ergänzung dar, eine Kohärenztomographie ersetzt jedoch nie die Histologie. Eine genaue Abgrenzung einzelner intraretinaler Schichten ist mittels OCT nur näherungsweise möglich, d. h. dass besonders die separate Darstellung der retinalen Nervenfaserschicht problematisch ist (CHAUHAN und MARSHALL, 1999; JONES et al., 2001). Hier ist die Verwendung ultra-hochauflösender OCT-Geräte der sogenannten dritten Generation – eventuell in Kombination mit Laserophthalmoskopen – vielversprechend, mit denen derzeit erste positive Erfahrungen gemacht werden. In diesen Geräten beträgt die longitudinale Auflösung 3 µm (DREXLER et al., 2003; GLOESMANN et al., 2003; ANGER et al., 2004; COSTA et al., 2004; GÜRSES-OZDEN et al., 2004; YANUZZI et al., 2004; ZAFAR et al., 2004).

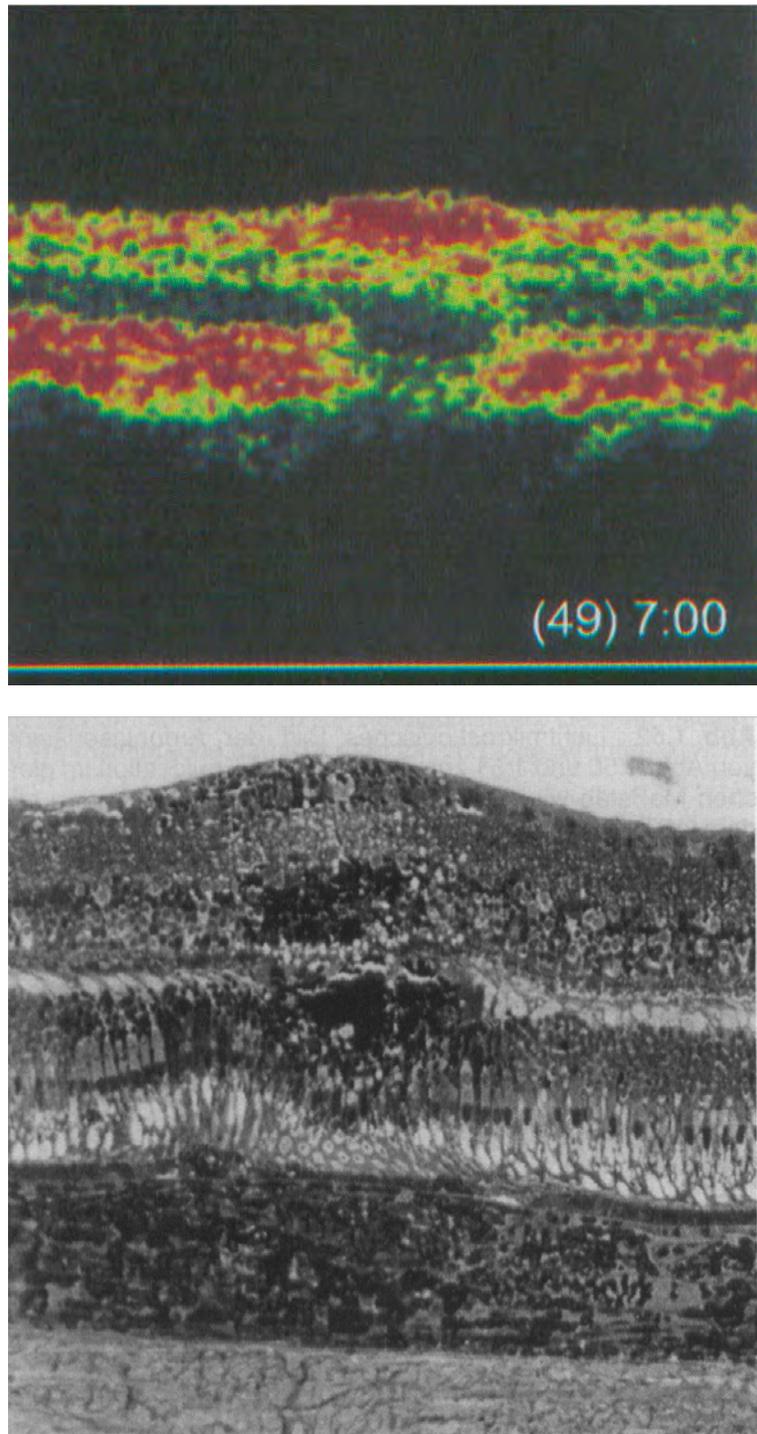


Abbildung 4: OCT-Schnittbild (oben) und lichtmikroskopische Aufnahme einer Netzhautläsion. Die kleine zentrale Blutung ist auch im OCT-Bild eindeutig als intraretinal gelegen zu erkennen (BIRNGRUBER, 1999).

Jede Grenzfläche zwischen zwei Medien mit unterschiedlicher optischer Dichte scheint reproduzierbar ein deutliches OCT-Signal hervorzurufen, das im zweidimensionalen Schnittbild als homogene Schicht erscheint und dessen Dicke gemessen werden kann (SCHAUDIG, 2001). Für die Ermittlung der gesamten Netzhautdicke ist es üblich, dass die erste hochreflektierende Schicht nach dem reflexionsfreien Glaskörperraum der Netzhautoberfläche und die zweite hochreflektierende Schicht dem retinalen Pigmentepithel zugeordnet wird. Zwischen beiden Schichten wird die Entfernung gemessen und gibt reproduzierbar die Dicke der neurosensorischen Netzhaut wieder (HEE et al., 1995d; BAUMANN et al., 1998; KOOZEKANANI et al., 2000; KONNO et al., 2001; ISHIKAWA et al., 2002; BERGAMIN et al., 2004).

Im Einzelnen wird in der menschlichen Retina die Grenzfläche zwischen Glaskörper und Retina durch Reflexionen von der Retinaoberfläche demarkiert. Das retinale Pigmentepithel und die Kapillarschicht der Chorioidea werden als hoch reflektierende rote Schicht dargestellt und repräsentieren die posteriore Grenze der Retina. Unterhalb der Kapillarschicht kehrt wegen der Abschwächung durch die Passage der neurosensorischen Retina und der Kapillarschicht schwach reflektiertes Licht von Chorioidea und Sklera zurück. Die außenliegenden Anteile von Stäbchen und Zapfen werden als dunkle Schicht und damit minimale Reflexion dargestellt, während die intermediären Schichten der Retina eine schwache Reflektivität zeigen (PULIAFITO et al., 1995; HEE et al., 1995d; DREXLER et al., 2003). Die Fovea erscheint als charakteristische Verdünnung der Retina (CHAUHAN und MARSHALL, 1999; GÖBEL et al., 2001). Das OCT-System kann nicht zwischen benachbarten Geweben ähnlicher Reflektivität differieren wie beispielsweise dem retinalen Pigmentepithel und der Chorioidea oder den äußeren Bereich der Photorezeptoren und deren Kernen (STANGA und BIRD, 2001).

Blutgefäße werden in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser abgebildet: Die Variationsbreite reicht von schwacher Streuung bis hin zu völlig reflexionsfreien dunklen Lumen (HRYNCHAK und SIMPSON, 2000; DREXLER et al., 2003).

2.2.3 Einsatzbereiche der OCT außerhalb der Ophthalmologie

Neben den ophthalmologischen Einsatzgebieten (s. Kap. 2.2.4) hat sich die optische Kohärenztomographie vor allem für die Untersuchung der Haut und der Schleimhaut im

Bereich der Mundhöhle bewährt (Tabelle 1). Weiterhin beschäftigen sich zahlreiche Studiengruppen mit Hilfe eigens hierfür angefertigter Miniatur-Fiber-Endoskope oder Laparoskope die optische Kohärenztomographie auch für die Untersuchung weiterer Körpergewebe zu nutzen, wobei die in Tabelle 1 genannten Veröffentlichungen mehrheitlich experimenteller Natur beziehungsweise erste klinische Erfahrungsberichte von Einzelfällen oder kleinen Patientenkollektiven sind.

Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die Einsatzgebiete sehr umfangreich und ermöglichen in Zukunft eventuell eine Einsparung zahlreicher invasiver Diagnoseverfahren, die nicht nur kostenintensiv, sondern für den Patienten auch sehr belastend sind. Einige Forschungsgruppen streben außer den genannten Gebieten auch an, mit Hilfe ultrahochauflösender OCT-Geräte den Zellzyklus einzelner Zellen *in vivo* zu beobachten. Hierdurch könnten beispielsweise wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf die Tumorentstehung und das Regressionsverhalten von Malignomen unter der Therapie gewonnen werden (BOPPART et al., 1998).

Andere Untersucher versuchen durch Kopplung der OCT mit einem Farbdoppel (CDOCT, „color Doppler optical coherence tomography“) Flüssigkeitsströmungen bildlich darzustellen. Auch hierzu existiert eine Fülle von Veröffentlichungen (Review: siehe ROLLINS et al., 2002).

Tabelle 1: Darstellungsmöglichkeiten verschiedener Gewebe mit der OCT mit Ausnahme ophthalmologischer Indikationen

Gewebe	Autoren
Haut Schleimhaut der Mundhöhle	SCHMITT et al., 1995; SERGEEV et al., 1997; WELZEL et al., 1997; WELZEL et al., 1998
Gastrointestinaltrakt Ösophagus (Epithel, Muscularis, Adventitia, submucosale Venen) Magen (Schleimhaut) Dünndarm (Zotten) Kolon (Krypten, Lymphknoten, Pseudomembranen) Pankreas/Gallenblase (Gallenblasenwand, Gallengänge, Langerhanssche Inseln)	TEARNEY et al., 1997a; BOUMA et al., 2000 BOUMA et al., 2000 KOBAYASHI et al., 1998 TEARNEY et al., 1997b TEARNEY et al., 1998
Respirationstrakt Trachea (Wand, Drüsen, Knorpel), Epiglottis Lunge (Alveolen)	BOPPART et al., 1997a; TEARNEY et al., 1997a; PITRIS et al., 1998
Herz-Kreislaufsystem Koronararterien Gefäßläsionen (Atherome)	BREZINSKI et al., 1996b; BREZINSKI et al., 1996a; TEARNEY et al., 1996; BREZINSKI et al., 1997; TEARNEY et al., 2000; BOUMA und TEARNEY, 2002 BREZINSKI et al., 1997

	Gewebe	Autoren
Weiblicher Geschlechtsapparat	Endometrium (physiologisch, Carcinom)	PITRIS et al., 1999
	Primordialfollikel	BOPPART et al., 1997a
Skelettsystem	Gelenkknorpelstruktur	HERRMANN et al., 1999
Harnapparat	Harnleiter	TEARNEY et al., 1997c
Embryologie	Zellmigration, Herzentwicklung	BOPPART et al., 1996a; BOPPART et al., 1996b; BOPPART et al., 1997b

2.2.4 Indikationen/Möglichkeiten am Auge

Die optische Kohärenztomographie eignet sich hervorragend zur Erkennung und Verlaufskontrolle verschiedener Netzhauterkrankungen (HEE et al., 1995a; HEE et al., 1995b; HEE et al., 1995c; HEE et al., 1995d).

Typischerweise ist die Retinadicke bei allen Erkrankungen erhöht, die ein Makulaödem verursachen. Eine Abnahme der Dicke zeigt sich hauptsächlich bei einer chorioretinalen Atrophie oder Narbenbildung. Netzhautblutungen können in der OCT nicht differenziert werden, hier ist vielmehr das klinische (funktoskopische Bild entscheidend (RIPANDELLI et al., 1998).

In der Humanmedizin bestehen folgende ophthalmologische Indikationen zur OCT (Tabelle 2):

Tabelle 2: Literaturangaben zu Indikationen für OCT-Messungen in der Ophthalmologie

Indikation	Autoren
Makulaödem diabetische Retinopathie	PULIAFITO et al., 1995; HEE et al., 1995c; HEE et al., 1996; WILKINS et al., 1996; OTANI et al., 1999; SOURDILLE und SANTIAGO, 1999; ANTCLIFF et al., 2000; MASSIN et al., 2001; NEUBAUER et al., 2001; POLITO et al., 2002; SCHNEEBERG und GOBEL, 2003; VOO et al., 2004
epiretinale Gliose („macular pucker“) epiretinale Membranen	WILKINS et al., 1996; MUNUERA et al., 1998; RIPANDELLI et al., 1998
Makulaforamen, -pseudoforamen	DUKER et al., 1995; HEE et al., 1995a; WILKINS et al., 1996; HO et al., 1998; RIPANDELLI et al., 1998; GAUDRIC et al., 1999
Makuladegeneration	PULIAFITO et al., 1995; HEE et al., 1996; TOTH et al., 1997; RIPANDELLI et al., 1998; SPRAUL et al., 1998; GIOVANNINI et al., 1999
Retinopathia centralis serosa	HEE et al., 1995b; HO et al., 1998; IIDA et al., 2000
Retinaablösung	PULIAFITO et al., 1995; IP et al., 1999
Partielle Lipodystrophie	TRABUCCHI et al., 1999
Drusen am Sehnervenkopf	ROH et al., 1997; ROH et al., 1998
Glaukom	HUANG et al., 1991; SCHUMAN et al., 1995; SCHUMAN et al., 1996; LEDERER et al., 2003; WOLLSTEIN et al., 2004
Vorderer Augenabschnitt: Cornea, Iris	IZATT et al., 1994; KOOP et al., 1997; HOERAUF et al., 2000; WIRBELAUER et al., 2000; HOERAUF et al., 2002

In der Veterinärmedizin wird die OCT noch nicht zur ophthalmologischen Diagnostik verwendet (BROOKS, 1999). Es liegen lediglich die Ergebnisse tierexperimenteller Untersuchungen vor, aus denen hervorgeht, dass sich auch bei Hunden und Kaninchen die OCT zur Diagnose eines Glaukoms eignet (DAWSON et al., 1996).