

## 2. Literaturübersicht

### 2.1 Kurze Darstellung der physikalischen Grundlagen

Die physikalischen Grundlagen der Optik sind den Büchern Experimentalphysik / Bergmann; Schaefer (KROSS 1993), Physik für Mediziner, Biologen und Pharmazeuten (GONSIOR 1994) und Physik für Mediziner (HARTEN 1993) entnommen.

#### 2.1.1 Brechung

Ein Lichtstrahl, der auf ein lichtdurchlässiges Medium trifft, wird zum Teil an dessen Oberfläche reflektiert und tritt zum Teil in das Medium ein. Beim Eintritt in das Medium verändert der Lichtstrahl seine Richtung. Diese Ablenkung wird als Brechung bezeichnet. Sie ist die Folge der veränderten Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes beim Übergang in Medien mit unterschiedlichen Brechungsindizes. Der Brechungsindex  $n$  eines Mediums, der auch als Brechzahl  $n$  bezeichnet wird, ist definiert als das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit  $c$  im Vakuum zur Lichtgeschwindigkeit  $v$  im Medium:  $n = c/v$ . Luft besitzt eine Brechzahl von ungefähr eins. Die Lichtgeschwindigkeit in Luft und Vakuum wird als gleich angenommen.

#### 2.1.2 Abbildung durch einfache Brechung

Optische Systeme erzeugen von gegebenen reellen Objekten reelle Bilder. Damit eine brechende Fläche abbilden kann, muß sie eine sphärische Oberfläche besitzen bzw. eine kugelförmig gekrümmte Fläche sein. Das abbildende System wandelt das von jedem einzelnen Bildpunkt  $P$  divergent aussendende Licht in ein konvergentes Bündel um, das den reellen Bildpunkt  $P'$  ansteuert. Alle Bildpunkte zusammen liefern dann das reelle Bild. Von einem unendlich weit entfernten Objekt treffen die Strahlen als parallele Bündel auf die brechende Fläche, und das Objekt wird im Abstand der bildseitigen Brennweite abgebildet. Die bildseitige Brennweite ist die kleinstmögliche Bildweite.

Sammellinsen (Pluslinsen) machen parallel verlaufende ankommende Strahlen konvergent, so daß sie sich in einem Brennpunkt hinter der Linse sammeln.

Zerstreuungslinsen (Minuslinsen) wandeln dagegen ein Parallellichtbündel in ein divergentes Bündel um. Sammellinsen besitzen positive Brennweiten  $f$  ( $f > 1$ ), während Zerstreuungslinsen negative Brennweiten besitzen ( $f < 1$ ). Die Brechkraft ( $D$ ) einer Linse entspricht dem Kehrwert ihrer Brennweite ( $f$ ):  $D = 1/f$ . Sie wird in Dioptrien gemessen ( $1\text{dpt} = 1/\text{m}$ ). Eine Dioptrie entspricht der Brechkraft einer Sammellinse, die parallel einfallende Strahlen in 1 m hinter der Linse vereinigt.

Die Gesamtbrechkraft zweier dicht hintereinanderliegender dünner Sammellinsen ergibt sich aus der Summe der Einzelbrechkräfte. Wenn jedoch weder die Dicke der hintereinanderliegenden Linsen noch der Abstand zwischen ihnen klein ist, werden zur Bildkonstruktion sogenannte Kardinalpunkte, zu denen die Hauptebenen, Hauptpunkte und Knotenpunkte zählen, eingeführt. Sie ermöglichen, daß auch für Linsensysteme, wie z.B. das Auge, dieselben einfachen Abbildungsgesetze herangezogen werden können wie für dünne Linsen. Die Kardinalpunkte des Hunde- und Katzenauges wurden anhand der Komponenten des dioptrischen Apparates berechnet und zur Erstellung schematischer Augen verwendet (MATTHIESSEN 1887, MEYER 1897, VAKKUR und BISHOP 1963, COILE und O'KEEFE 1988, MUTTI et al. 1999). Bei einem schematischen Auge handelt es sich um ein

mathematisches Modell des durchschnittlichen Auges, mit dessen Hilfe es möglich ist, verschiedene optische Charakteristika des lebenden Auges zu beschreiben (VAKKUR und BISHOP 1963, COILE und O'KEEFE 1988). Es stellte in der Humanmedizin die Grundlage der Erforschung der physiologischen Optik dar und war entscheidend für die Entwicklung von Brillengläsern und die Anwendung von optischen Instrumenten (VAKKUR und BISHOP 1963).

## **2.2 Das Auge als optisches System**

### **2.2.1 Umriß des optischen Aufbaus des Auges**

Die nahezu kugelförmige Gestalt des Auges verleiht ihm eine große Beweglichkeit und damit die Möglichkeit, durch schnelle Augenbewegungen das Gesichtsfeld zu erweitern (HARTEN 1993). Als optische Achse des Auges wird die Senkrechte, die von der Hornhautvorderfläche durch die Mitte der Pupille verläuft, definiert (KROSS 1993). Die äußerste Schicht des Auges ist die Lederhaut, die in die vorgewölbte Hornhaut übergeht. An die Lederhaut schließt die Aderhaut an. Sie geht im vorderen Augenteil in den Ziliarkörper, der der Formveränderung der Linse dient, über. An diesen schließt sich die Regenbogenhaut an, die als Aperturblende variablen Durchmessers funktioniert (KROSS 1993). Hinter der Hornhaut liegt die vordere Augenkammer. Der Raum zwischen Irishinterfläche und Linsenvorderfläche ist die hintere Augenkammer. Der Glaskörper füllt das Augeninnere aus. Er wird nach vorne von der Linse begrenzt und nach hinten von der Netzhaut umschlossen, die als lichtempfindliche Zellen die Stäbchen und Zapfen enthält (SLATTER 1990). Die optische Achse durchsetzt die Netzhaut im hinteren Augenpol (KROSS 1993).

### **2.2.2 Die optischen Medien des Auges im Detail**

Die optischen Medien des Auges sind die Hornhaut, das Kammerwasser, die Linse und der Glaskörper. Die Tabellen 1, 2, 3 und 4 enthalten die optischen Konstanten des Hunde- und Katzenauges.

**Tab. 1: Okulare Abstände bei Hunden und Katzen**

Abstände	Hund		Katze	
	Distanz [mm]	Literatur	Distanz [mm]	Literatur
Hornhautdicke im Zentrum	0,6 – 1,0	Koschel (1893)	0,6 – 1,0	Koschel (1893), Carrington und Woodward (1986), Climenhaga et al. (1988)
Hornhautdicke in der Peripherie	0,5 – 0,7	Koschel (1893)	0,4 – 0,61	Koschel (1893), Climenhaga et al. (1988)
Hornhautdicke, gesamt	0,48 – 0,9	Meyer (1897), Gwin et al. (1982)	0,6 – 0,68	Vakkur und Bishop (1963), Thorn et al. (1976)
Vorderkammertiefe	3,6 – 4,95	Schiffer et al. (1982), Nowak und Neumann (1987), Cottril et al. (1989), Gaiddon et al. (1991), Ekesten (1994), Mutti et al. (1999)	4,5 – 5,2	Koschel (1893), Vakkur und Bishop (1963), Gilger et al. (1998b)
Linsendicke	6,8 – 7,83	Matthiessen (1887), Meyer (1897), Fath El-Bab et al. (1982), Schiffer et al. (1982), Kreuzer und Sivak (1985), Nowak und Neumann (1987), Cottril et al. (1989), Ekesten (1994)	7,77 – 8,81	Koschel (1893), Vakkur und Bishop (1963), Rubin und Koch (1968), Sunderland und O'Neill (1976), Fath El-Bab et al. (1982), Kreuzer und Sivak (1985), Gilger et al. (1998b)
Linsendurchmesser	10,5 – 11,33	Meyer (1897), Fath El-Bab et al. (1982), Kreuzer und Sivak (1985)	10,63 – 11,5	Fath El-Bab et al. (1982), Kreuzer und Sivak (1985)
Hornhaut - hintere Linsenfläche	12,10	Mutti et al. (1999)	12,3 – 13,7	Koschel (1893), Vakkur und Bishop (1963), Gilger et al. (1998b)
hintere Linsenfläche - Netzhaut	8,8 – 10,05	Schiffer et al. (1982), Cottril et al. (1989), Ekesten (1994)	7,5	Koschel (1893)
Hornhautvorderfläche - Netzhaut	21,25 – 22,12	Matthiessen (1887), Meyer (1897), Mutti et al. (1999)	21,83	Vakkur und Bishop (1963)
Axiale Bulbuslänge	19,6 – 24,2	Koschel (1893), Schiffer et al. (1982), Nowak und Neumann (1987), Cottril et al. (1989), Gaiddon et al. (1991), Ekesten (1994)	20,0 – 22,3	Koschel (1893), Vakkur und Bishop (1963), Rubin und Koch (1968), Rose et al. (1974), Gilger et al. (1998b)

**Tab. 2: Brechzahlen der optischen Medien bei Hunden und Katzen**

	Hund	Literatur	Katze	Literatur
<b>Brechzahlen</b>				
Hornhautsubstanz	1,3375 – 1,3768	Meyer (1897), Mutti et al. (1999)	/	/
Kammerwasser	1,3333 – 1,3361	Meyer (1897), Mutti et al. (1999)	/	/
Linsenkapsel	1,3714	Meyer (1897)	/	/
Kortex	1,375	Matthiessen (1887)	1,38	Jagger (1990)
vorderer Kortex	1,3841	Meyer (1897)	/	/
Kernzentrum	1,4477 – 1,4482	Matthiessen (1887), Meyer (1897)	1,46	Jagger (1990)
hinterer Kortex	1,3843	Meyer (1887)	/	/
Glaskörper	1,3333 – 1,3358	Matthiessen (1887), Meyer (1897), Mutti et al. (1999)	/	/
Totalindex	1,5247 – 1,5361	Matthiessen (1887), Mutti et al. (1999)	/	/

/ = keine Angaben

**Tab. 3: Krümmungsradien der Hornhaut und Linse bei Hunden und Katzen**

	Hund	Literatur	Katze	Literatur
<b>Krümmungsradien</b>				
Hornhautvorderfläche: vertikaler Meridian	8,62 – 9,0 mm	Koschel (1893), Meyer (1897), Görig et al. (1997)	9,2 mm	Koschel (1893)
Hornhautvorderfläche horizontaler Meridian	8,68 – 9,3 mm	Koschel (1893), Meyer (1897), Nowak und Neumann (1987), Görig et al. (1997)	9,5 mm	Koschel (1893)
Hornhautvorderfläche, gesamt	8,46 – 9,13 mm	Matthiessen (1887), Gaiddon et al. (1991), Mutti et al. (1999)	7,0 – 8,58 mm	Vakkur und Bishop (1963), Smolen et al. (1976), Freeman (1980)
Hornhauthinterfläche	/	/	7,89 mm	Vakkur und Bishop (1963)
Linsenvorderfläche	6,2 – 7,65 mm	Matthiessen (1887), Koschel (1893), Meyer (1897), Kreuzer und Sivak (1985), Mutti et al. (1999)	5,99 – 7,56	Koschel (1893), Vakkur und Bishop (1963), Sunderland und O'Neill (1976), Kreuzer und Sivak (1985)
Linsenhinterfläche	5,51 – 8,2 mm	Matthiessen (1887), Koschel (1893), Meyer (1897), Kreuzer und Sivak (1985), Mutti et al. (1999)	6,34 – 8,05	Koschel (1893), Vakkur und Bishop (1963), Sunderland und O'Neill (1976), Kreuzer und Sivak (1985)

/ = keine Angaben

**Tab. 4: Brechkraft der Hornhaut, Linse und des Auges bei Hunden und Katzen**

Optische Medien	Hund		Katze	
	Brechkraft [dpt]	Literatur	Brechkraft [dpt]	Literatur
Hornhautvorderfläche vertikaler Meridian	38,923	Kistler (1927)	/	/
Hornhautvorderfläche horizontaler Meridian	38,82	Kistler (1927)	/	/
Hornhautvorderfläche, gesamt	37,84 – 44,716	Coile und O'Keefe (1988), Gaiddon et al. (1991), Nelms et al. (1994), Rosolen et al. (1995)	38,93 – 43,874	Vakkur und Bishop (1963), Freeman (1980), Coile und O'Keefe (1988), Gilger et al. (1998b)
Hornhauthinterfläche, gesamt	-4,763	Coile und O'Keefe (1988)	-4,235 – -5,07	Vakkur und Bishop (1963), Coile und O'Keefe (1988)
Hornhaut, gesamt	40,083	Coile und O'Keefe (1988)	38,122 – 38,914	Vakkur und Bishop (1963), Coile und O'Keefe (1988),
Linsenvorderfläche	27,531	Coile und O'Keefe (1988)	30,333 – 31,621	Vakkur und Bishop (1963), Coile und O'Keefe (1988)
Linsenhinterfläche	29,402	Coile und O'Keefe (1988)	27,130 – 28,629	Vakkur und Bishop (1963), Coile und O'Keefe (1988)
Linse, gesamt	52,937	Coile und O'Keefe (1988)	52,964 – 55,422	Vakkur und Bishop (1963), Coile und O'Keefe (1988)
Auge, gesamt	74,52 – 79,2	Mutti et al. (1999), Coile und O'Keefe (1988)	77,983 – 79,4	Vakkur und Bishop (1963), Coile und O'Keefe (1988)

/ = keine Angaben

### 2.2.2.1 Hornhaut

Die Hornhaut besitzt am Auge die größte Brechkraft (SLATTER 1990, GUM 1991, KROSS 1993). Dies ist auf ihren hohen Brechungsindex verglichen mit Luft zurückzuführen (GONSIOR 1994, GLOVER und CONSTANTINESCU 1997). Im Vergleich zum Menschen ist die Hornhaut des Hundes flacher (GAIDDON et al. 1991), verglichen mit der Katze weist sie dagegen eine stärkere Krümmung und damit eine um etwa eine Dioptrie höhere Brechkraft auf (GILGER et al. 1998a).

Die Transparenz der Hornhaut beruht auf der Abwesenheit von Blutgefäßen, dem Zustand relativer Dehydratation und der regelmäßigen Anordnung der stromalen Kollagenfibrillen (GUM 1991). Das Stroma der Hornhaut besteht aus Lamellen von Kollagenfasern, die annähernd parallel in einer Grundsubstanz aus Mucopolysacchariden angeordnet sind. Streuung von Licht und damit der Verlust der Transparenz entstehen durch Schwankungen in der Dichte der Kollagenfasern bzw. durch Schwankungen im Brechungsindex der Hornhaut. Dies wird in ödematösen Hornhäuten, in denen sich irreguläre Regionen befinden, die frei von Kollagen sind, beobachtet (BENEDEK 1971).

Der horizontale Hornhautdurchmesser ist bei Hunden und Katzen größer (16,3 – 17 mm) als der vertikale (15,25 – 16,2 mm), wodurch die Hornhaut eine annähernd elliptische Form erhält (KOSCHEL 1893, MEYER 1897, CARRINGTON und WOODWARD 1986). Kleine (KISTLER 1927) und mittelgroße (GAIDDON et al. 1991) Hunderassen besitzen eine höhere Hornhautbrechkraft als große (KISTLER 1927, GAIDDON et al. 1991), da die Oberfläche eines Augapfels mit größerem Durchmesser eine niedrigere Refraktion aufweist (KISTLER 1927).

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Hornhautkrümmung zwischen dem rechten und linken Auge und männlichen und weiblichen Hunden (GAIDDON et al. 1991).

### **2.2.2.2 Vordere Augenkammer und Kammerwasser**

Die vordere Augenkammer ist mit Kammerwasser ausgefüllt (SLATTER 1990). Dieses ist frei von Zellen und Protein (SLATTER 1990) und besitzt einen etwas höheren Brechungsindex als Wasser (GUM 1991).

Bei Samoyeden und Labrador Retrievern nimmt die Tiefe der vorderen Augenkammer mit zunehmendem Alter ab (EKESTEN und TORRANG 1995, MUTTI et al. 1999), was mit der höheren Hornhautdicke bei älteren Tieren in Zusammenhang gebracht wird (EKESTEN und TORRANG 1995).

Die Katze besitzt eine tiefere, der Mensch dagegen eine flachere vordere Augenkammer als der Hund (GILGER et al. 1998b, MUTTI et al. 1999).

### **2.2.2.3 Linse**

Die Linse ist ein durchsichtiger, avaskulärer und bikonvexer Körper, der direkt hinter der Iris liegt und mit dieser in Kontakt steht (GLOVER und CONSTANTINESCU 1997). Sie ist nicht kreisrund, sondern weist bei allen Haustieren einen geringeren vertikalen als horizontalen Durchmesser auf (KOSCHEL 1893). Die äußeren Areale nahe der Linsenkapsel werden als Kortex und die zentralen Anteile als Nukleus bezeichnet (SLATTER 1990).

Hunde und Katzen besitzen eine im Verhältnis zum Augapfel große Linse (FATH EL - BAB et al. 1982). Die Linse der Katze ist mit einem Volumen von 0,5 cm<sup>3</sup> größer als die des Hundes (0,45 cm<sup>3</sup>). Auch das Verhältnis des Volumens der Linse zum Volumen des gesamten Augapfels, das beim Hund 1:10,66 beträgt, ist bei der Katze, bei der es bei 1:9 liegt, größer (FATH EL - BAB et al. 1982). Beim Menschen ist die Linsendicke durchschnittlich 4 mm geringer als beim Hund (MUTTI et al. 1999), und das Verhältnis Linse zu Bulbus beträgt nur etwa 1 : 20 (DRAEGER et al. 1983).

Die Linse ist ein optisch nicht homogener Körper, vielmehr weisen die verschiedenen Linsenschichten unterschiedliche Brechungsindizes auf. Diese nehmen von dem Kortikalis zum Kernzentrum hin zu (MATTHIESSEN 1887, MEYER 1897, KROSS 1993). Die Linse besitzt trotz stärkerer Krümmung ihrer Oberfläche eine geringere Brechkraft als die Hornhaut, da die Unterschiede zwischen den Brechungsindizes von Kammerwasser, Linse und Glaskörper geringer sind als zwischen Luft und Hornhaut (GLOVER und CONSTANTINESCU 1997, GONSIOR 1994).

Die Linse des Hundes weist eine stärker gewölbte hintere als vordere Linsenfläche auf (MATTHIESSEN 1887, KOSCHEL 1893, MEYER 1897, SIVAK und KREUZER 1983). Bei der Katze ist dagegen die Linsenvorderfläche stärker gewölbt als die Hinterfläche

(KOSCHEL 1893, VAKKUR und BISHOP 1963, SUNDERLAND und O'NEILL 1976, SIVAK und KREUZER 1983).

Die Linsenkapsel ist im vorderen Bereich bei Hund und Katze mit 42  $\mu\text{m}$  bzw. 98  $\mu\text{m}$  dicker als im hinteren Bereich, wo sie beim Hund 14  $\mu\text{m}$  und bei der Katze 7  $\mu\text{m}$  mißt (FATH EL - BAB et al. 1982). Die vordere Linsenkapsel ist die Basalmembran eines einschichtigen Epithels, von dem aus im Bereich des Linsenäquators lebenslang Linsenfasern produziert werden, die die Linsenkortex bilden (GLOVER und CONSTANTINESCU 1997) und die älteren Fasern in Richtung Zentrum drängen (SLATTER 1990). Bei jungen Hunden bestehen zwischen der Dichte und Härte von Kortex und Nukleus nur geringe Unterschiede. Mit zunehmendem Alter wird die gesamte Linse, insbesondere aber der Nukleus, dichter. Diese Erscheinung, die zum Teil auf Veränderungen der Linsenzellmembranen während des Alterungsprozesses zurückzuführen ist, wird als Nukleussklerose bezeichnet. Sie resultiert aus einer Kompression der peripheren Linsenfasern in Richtung Zentrum der Linse, hervorgerufen durch die ständige Nachproduktion von neuen Fasern. Es tritt jedoch keine Unterbrechung der räumlichen Anordnung der Fasern auf. Das Sehvermögen ist in der Regel nicht beeinträchtigt (GLOVER und CONSTANTINESCU 1997). Die Sklerose des Linsenkerns beginnt beim Hund mit dem sechsten bis achten Lebensjahr (SLATTER 1990, SEVERIN 1996, WALDE et al. 1997) und bei der Katze mit etwa dem zwölften Lebensjahr (COTTRELL und PEIFFER 1991). Beim Menschen ist die Nukleussklerose zum Teil für den altersbedingten Akkommodationsverlust verantwortlich (GLOVER und CONSTANTINESCU 1997). Die Nukleussklerose ist von der Katarakt zu trennen, bei der es sich um eine Linsentrübung handelt (SLATTER 1990). Der Transparenzverlust der kataraktösen Linse beruht vermutlich auf der Anhäufung größerer Aggregate unlöslicher Proteine, die aus zusammengeballten löslichen Proteinen hervorgehen und Regionen in der Linse entstehen lassen, die einen im Vergleich zur übrigen Linse unterschiedlichen Brechungsindex besitzen und dadurch zu einer Zerstreuung von Licht führen (BENEDEK 1971).

#### **2.2.2.4 Glaskörper**

Der Glaskörper besteht zu 98% aus Wasser und nimmt etwa Dreiviertel des Volumens des Augapfels ein (SLATTER 1990, GUM 1991). Er ist beim Hund 6 bis 7 mm kürzer als beim Menschen (MUTTI et al. 1999). Das Gerüst des Glaskörpers besteht aus Kollagen, dessen Zwischenräume von Hyaluronsäure ausgefüllt werden (GUM 1991). Diese Organisation des Kollagen-Hyaluronsäurenetzwerkes ist verantwortlich für die Transparenz des Glaskörpers, die die Übertragung von mehr als 90% des sichtbaren Lichtes auf die Netzhaut ermöglicht (GUM 1991).

#### **2.2.3 Axiale Bulbuslänge**

Hunde besitzen eine um 1 bis 2 mm geringere durchschnittliche axiale Bulbuslänge als der Mensch (MUTTI et al. 1999) (siehe Tabelle 1).

Eine größere axiale Bulbuslänge weisen Hunde großer Rassen gegenüber Hunden kleiner und mittelgroßer Rassen (KOSCHEL 1893, GAIDDON et al. 1991), männliche Hunde gegenüber weiblichen (SCHIFFER et al. 1982) und dolichocephale Hunde gegenüber mesocephalen Hunden auf (COTTRILL et al. 1989). GAIDDON et al. (1991) und COTTRILL et al. (1989) konnten jedoch keine geschlechtsabhängigen Unterschiede in der axialen Bulbuslänge bei Hunden nachweisen.

Beim Menschen besteht gleichermaßen eine positive Korrelation zwischen der Körpergröße und der axialen Bulbuslänge (LARSEN 1979). Außerdem weisen männliche Personen längere Augäpfel auf als weibliche (TOMLINSON und PHILLIPS 1970, LARSEN 1979), und größere, breitere und längere Köpfe sind mit einer größeren axialen Bulbuslänge verbunden (LARSEN 1979).

#### **2.2.4 Bilderzeugung des Auges**

Die Brechung der Lichtstrahlen durch Hornhaut und Linse, die wie zwei zusammengesetzte Sammellinsen wirken, führt zur Abbildung eines reellen und umgekehrten Bildes auf der Netzhaut (GONSIOR 1994), die als gewölbte Bildfläche wirkt (KROSS 1993). Die Brechung erfolgt an den Grenzflächen Luft - Hornhaut, Hornhaut - Kammerwasser, Kammerwasser - Linse und Linse - Glaskörper (GONSIOR 1994). Die Pupillengröße bestimmt die Menge an Licht, die in das Auge eintritt, und die Tiefenschärfe (MINDEL und GLICK 1973). Der Tiefenschärfebereich ist der Bereich der Gegenstands Entfernung, in dem ein Gegenstand scharf abgebildet wird. Die Größe dieses Bereiches ist dem Durchmesser der Pupille umgekehrt proportional (GONSIOR 1994).

Die hintere Brennweite des Auges ist bei parallel einfallenden Strahlen mit dem Durchmesser des Auges vorgegeben (GONSIOR 1994). Gegenstände aus unterschiedlichen Entfernungen können nur aufgrund der Möglichkeit der Linse, ihre Brechkraft mittels Akkommodation zu verändern, scharf abgebildet werden (GONSIOR 1994). Ohne Linse wäre das Auge auf eine bestimmte Sehweite festgelegt (HARTEN 1993).

#### **2.3 Akkommodation**

Die Akkommodation ist ein Mechanismus, bei dem sich die Gesamtbrechkraft des Auges verändert (KAUFMAN 1992). Sie erfolgt bei Menschen, Hunden und Katzen durch die Veränderung der Oberflächenkrümmung und damit der Brechkraft ihrer Linse (SLATTER 1990, GUM 1991, KAUFMAN 1992, SEVERIN 1996). Der Tendenz der Linse, eine zirkuläre Form anzunehmen, wirken die Zugkräfte der Zonulafasern entgegen (SLATTER 1990). Beim Blick auf nahe Gegenstände kontrahiert sich der Ziliarmuskel, was zu einer Abnahme der Spannung der Zonulafasern auf die Linse führt, wodurch diese eine rundere Form und damit eine höhere Brechkraft annimmt (SLATTER 1990, GUM 1991). Beim Blick in die Ferne ist der Ziliarmuskel entspannt, der Zug der Zonulafasern maximal und die Form der Linse stärker abgeflacht (SLATTER 1990). Die Innervation des Ziliarmuskels erfolgt über den Parasympathikus (GUM 1991, KAUFMAN 1992).

Die Akkommodation wird sensorisch durch das unscharfe Netzhautbild eines betrachteten Objekts stimuliert (KAUFMAN 1992). Sie geht in der Regel mit der Kontraktion der Pupillen und einer Konvergenzbewegung der Augen einher (THOMPSON 1992). Diese Kopplung beruht auf einer supranukleären Verbindung zwischen den motorischen Neuronen des Sphinktermuskels der Pupille, des Ziliarmuskels und des medialen geraden Augenmuskels. Die Zusammenarbeit der drei Muskeln dient der Erzeugung eines zentralen Netzhautbildes. Die geraden Augenmuskeln ermöglichen die Abbildung von Objekten im Bereich des schärfsten Sehens beider Augen, der Ziliarmuskel fokussiert die Bilder, und der Sphinktermuskel der Pupille erhöht die Tiefenschärfe (THOMPSON 1992).

Die Akkommodation beträgt bei Hunden und Katzen maximal 2 – 4 dpt (HESS und HEINE 1898, KAHMANN 1930, MARG et al. 1954, MARG und REEVES 1955, VAKKUR et al. 1963,

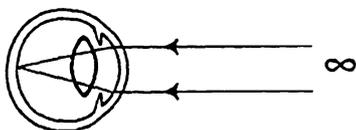
O'NEILL und BRODKEY 1969, BLOOM und BERKLEY 1977, EZEH et al. 1990). Diese geringe Akkommodationsfähigkeit ist auf den im Vergleich zum Menschen nur schwach entwickelten Ziliarmuskel der Haustiere (KAHMANN 1930, GUM 1991, SEVERIN 1996) und ihre relativ große (KAHMANN 1930, SEVERIN 1996) und harte Linse (KAHMANN 1930) zurückzuführen. Bei Katzen konnte jedoch auch eine deutlich höhere Akkommodation von 9 bis 13 dpt nachgewiesen werden (LOVASIK und BEAUCHAMP 1982a, LOVASIK und BEAUCHAMP 1982b).

Im Vergleich dazu besitzt der junge Mensch eine Akkommodationsfähigkeit von 14 dpt (HOLLWICH 1988). Diese nimmt mit zunehmendem Alter aufgrund des Elastizitätsverlustes der Linse ab (LEYDHECKER und GREHN 1993) und geht ab dem sechzigsten Lebensjahr vollständig verloren (REIM 1990).

Weitere Akkommodationsmechanismen von Vertebraten sind 1) die Veränderung der Krümmung der Hornhaut, 2) die Änderung des Abstandes zwischen Hornhaut und Netzhaut, 3) die Plazierung eines Linsensystems zwischen Hornhaut und Netzhaut, das seine Brechkraft durch Veränderung seiner Position im Augapfel variiert, 4) die Änderungen des Brechungsindex eines oder mehrerer der optischen Medien des Auges oder 5) der Besitz eines oder mehrerer optischer Wege mit unterschiedlicher Brechkraft (KAUFMAN 1992). Bei der Katze wird vermutet, daß neben der Veränderung der Oberflächenkrümmung der Linse die Brechkraft des Auges auch durch eine Vorwärtsverlagerung der Linse im Augapfel erhöht wird (VAKKUR und BISHOP 1963, O'NEILL und BRODKEY 1969, SUNDERLAND und O'NEILL 1976). Die Verlagerung der Linse führt zu einer Erhöhung des Abstandes zwischen der hinteren Hauptfläche der Linse und der Netzhaut, wodurch der Nahpunkt näher an das Auge gebracht wird (VAKKUR und BISHOP 1963). Der Nahpunkt entspricht der kürzesten individuell noch scharf einstellbaren Sichtweite (HARTEN 1993).

## 2.4 Emmetropie (Normalsichtigkeit)

Der Fernpunkt eines Auges ist definiert als der Punkt im Raum, der mit der Netzhaut konjugiert ist. Von ihm ausgehende Strahlen erzeugen bei entspannter Akkommodation ein scharfes Bild auf der Netzhaut. Beim emmetropen Auge liegt der Fernpunkt im Unendlichen (CORBOY 1996) (siehe Abbildung 1). Optische Unendlichkeit befindet sich in einer Entfernung ab 5 m (HOLLWICH 1988).



**Abb. 1: Strahlenverlauf bei einem emmetropen Auge (nach DAVIDSON 1997)**

Die Refraktion eines Auges oder sein Brechungsstatus ergibt sich aus dem Brechwert der Medien und der Achsenlänge. Beim emmetropen oder normalsichtigen Auge befinden sich Achsenlänge und Brechkraft des Auges im richtigen Verhältnis (HOLLWICH 1988). Der Prozeß, der das Wachstum der optischen und axialen Komponenten des Auges in der Weise koordiniert, daß ein Auge ohne Brechungsfehler entsteht, wird Emmetropisierung genannt

(SMITH und HUNG 1999). Beim Menschen vollzieht sich die Emmetropisierung in der Weise, daß vom Neugeborenen bis zum Erwachsenen die axiale Bulbuslänge zunimmt und gleichzeitig eine Abnahme der Hornhautkrümmung und der Brechkraft der Linse erfolgt. Während der Augapfel seine endgültige Länge erst im Erwachsenenalter erreicht, erfolgt die Abflachung der Hornhaut im wesentlichen in den ersten sechs Lebensmonaten und die Abnahme der Linsenbrechkraft bis zum sechsten bis siebten Lebensjahr (GORDON und DONZIS 1985). Bis zum Alter von sechs bis sieben Jahren verändert sich der Brechungszustand des Menschen, der bis dahin durchschnittlich leicht hyperop ist (+0,4 bis +1 dpt), nicht wesentlich. Erwachsene (20 bis 36 Jahre) weisen dagegen einen durchschnittlich myopen Brechungszustand von  $-0,5$  dpt auf (GORDON und DONZIS 1985). Diese Verschiebung der Refraktion in Richtung Myopie zwischen dem Alter von sechs bis sieben Jahren und dem Erwachsenenalter erklären GORDON und DONZIS (1985) mit der fehlenden Kompensation des axialen Bulbuswachstums durch eine Abnahme der Brechkraft der Hornhaut oder Linse.

Bei Hunden und Katzen liegen keine Untersuchungen über das koordinierte Augenwachstum vor. Messungen der Hornhautkrümmung haben jedoch gezeigt, daß adulte Hunde und Katzen ebenfalls eine flachere Hornhaut aufweisen als junge (KISTLER 1927, SMOLEN et al. 1976, FREEMAN et al. 1978, FREEMAN 1980). Dies konnte von GAIDDON et al. (1991) nicht bestätigt werden, sie untersuchten jedoch keine Hunde im Alter von unter neun Monaten.

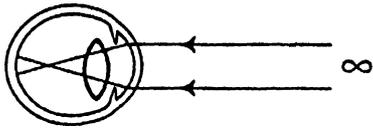
## **2.5 Ametropie (Fehlsichtigkeit)**

Ein Auge ist fehsichtig, wenn sein Fernpunkt nicht im Unendlichen liegt, ein weit entfernter Objektpunkt auf der Netzhaut also nicht scharf abgebildet wird (KROSS 1993). Brechungsfehler entstehen durch ein unproportionales Wachstum der okularen Komponenten, wodurch ein Mißverhältnis zwischen der Brechkraft und der Achsenlänge des Auges entsteht (TROILO 1992). Dies führt dazu, daß sich parallele Lichtstrahlen im nicht akkommodierten Auge vor (myopes Auge) oder hinter der Netzhaut (hyperopes Auge) vereinigen und ein unscharfes mehr oder weniger verzerrtes Bild entstehen lassen (HOLLWICH 1988). Besitzen die brechenden Oberflächen des fehsichtigen Auges die gleiche Krümmung in allen Meridianen, wird von sphärischer Fehlsichtigkeit gesprochen. Asphärische Fehlsichtigkeit bzw. Astigmatismus liegt vor, wenn die brechenden Oberflächen, insbesondere die vordere Hornhaut, nicht den gleichen Krümmungsradius in allen Meridianen aufweisen (CORBOY 1996). Ametropie Augen benötigen eine korrigierende Linse, um die Netzhaut mit dem Unendlichen zu konjugieren (CORBOY 1996). Die Ametropie eines Auges wird nach der Dioptrienzahl des korrigierenden Glases bezeichnet (LEYDHEKER und GREHN 1993).

### **2.5.1 Sphärische Brechungsfehler**

#### **2.5.1.1 Myopie**

Im myopen bzw. kurzsichtigen Auge werden lediglich naheliegende Gegenstände auf der Netzhaut scharf abgebildet, während weiter entfernte verschwommen gesehen werden (REIM 1990). Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Netzhaut für die Brechkraft des Auges zu weit entfernt ist (YINON 1984) und sich somit parallel einfallende Strahlen zu früh, d.h. im Glaskörperraum, schneiden (REIM 1990). Das myope Auge besitzt also relativ zu viel Brechkraft (CORBOY 1996) (siehe Abbildung 2).



**Abb. 2: Strahlenverlauf beim myopen Auge (nach DAVIDSON 1997)**

Der Fernpunkt des myopen Auges liegt zwischen dem Unendlichen und dem Auge (CORBOY 1996). Kurzsichtigkeit wird beim Menschen mit Minuslinsen korrigiert, die die ankommenden Strahlen stärker divergent machen. Die Progression der Erkrankung kann nicht kontrolliert werden (SCHAEFFEL und HOWLAND 1995). Myopie wird beim Menschen in Brechungsmyopie, Achsenmyopie oder axiale Myopie unterteilt.

Bei der Brechungsmyopie ist der Augapfel von normaler Länge, aber die Brechkraft des optischen Apparates zu stark (REIM 1990). Sie kann beim Menschen durch eine verstärkte Krümmung der Hornhaut oder einer oder beider Linsenoberflächen hervorgerufen werden. Weiterhin kann ein erhöhter Brechungsindex von Hornhaut, Kammerwasser oder Linse oder ein verminderter Brechungsindex des Glaskörpers zur Myopie führen. Eine ungewöhnlich flache vordere Augenkammer ist eine weitere Ursache von Kurzsichtigkeit (YINON 1984).

Bei myopen Deutschen Schäferhunden wird vermutet, daß eine Brechungsmyopie lenticulären Ursprungs vorliegt (MURPHY et al 1992). Weiterhin zeigen Hunde mit sklerotischen Linsenkernveränderungen (KISTLER 1927, MURPHY et al. 1992, NEUMANN et al. 1998) und kataraktösen Veränderungen (NEUMANN et al. 1998) eine Verschiebung ihres Brechungszustandes in Richtung Myopie. Dies wurde auch beim Menschen nachgewiesen (BROWN und HILL 1987, LEE et al. 1999, WU et al. 1999). Bei myopen Katzen, deren Sehen auf nahegelegene Gegenstände beschränkt wurde, wird vermutet, daß ein Mechanismus, der die Krümmung der brechenden Oberflächen des Auges beeinflusst, für die Entstehung der Myopie verantwortlich ist, da keine Unterschiede in der axialen Bulbuslänge zwischen myopen und nichtmyopen Katzen festgestellt werden konnten (ROSE et al. 1974, BELKIN et al. 1977). Da die Linse für die Anpassung an das Nahsehen verantwortlich ist, ist anzunehmen, daß sie der Ort der Brechkraftveränderung ist (ROSE et al. 1974).

Die Achsenmyopie ist beim Menschen die häufigste Form der Kurzsichtigkeit (YINON 1984). Sie wird hervorgerufen durch eine abnormale Länge des Augapfels (REIM 1990) infolge einer Vergrößerung des hinteren Augensegments (WHITMORE 1992).

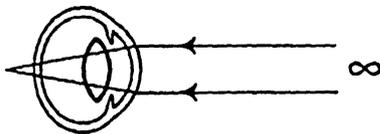
Beim Hund tritt nach NOWAK und NEUMANN (1987) Myopie ebenfalls im Zusammenhang mit einer überdurchschnittlichen Bulbuslänge auf. Axiale Myopie konnte auch bei Labrador Retrievern, die an familiär bedingten okularen und skeletalen Anomalien litten, nachgewiesen werden (BLAIR et al. 1985). Zwischen myopen und nichtmyopen Schäferhunden und myopen und nichtmyopen gesunden Labrador Retrievern konnten dagegen keine Unterschiede in der Länge des Augapfels festgestellt werden (MURPHY et al 1992, MUTTI et al. 1999). Analog zur axialen Myopie des Menschen weisen jedoch myope Labrador Retriever gegenüber normalsichtigen Labrador Retrievern eine Verlängerung des Glaskörperaumes auf, die vermutlich auf eine Abflachung der Linse zurückzuführen ist (MUTTI et al. 1999).

Eine weitere mögliche Ursache für den verlängerten Glaskörperraum wäre eine Vorwärtsverlagerung der Linse (MUTTI et al. 1999).

Die Häufigkeit der axialen Myopie des Menschen tritt abhängig von der Alters- und Berufsgruppe in den USA und Europa bei 20 bis 80% der Bevölkerung und in den Ländern des Fernen Ostens bis zu 90% auf (SCHAEFFEL und HOWLAND 1995). Sie tritt in der Regel während der Jugend auf (REIM 1990).

### 2.5.1.2 Hyperopie

Das hyperope bzw. weitsichtige Auge hat relativ zu wenig Brechkraft, so daß parallele Strahlen aus dem Unendlichen nicht genug gebrochen werden, um sich auf der Netzhaut zu vereinigen (CORBOY 1996). Beim Blick des nicht akkommodierten Auges in die Ferne, vor allem aber beim Blick auf nahe Gegenstände, wird deshalb das Bild hinter der Netzhaut und nicht auf der Netzhaut abgebildet (REIM 1990) (siehe Abbildung 3). Der Fernpunkt des hyperopen Auges liegt virtuell hinter dem Unendlichen (KROSS 1993).



**Abb. 3: Strahlenverlauf beim hyperopen Auge (nach DAVIDSON 1997)**

Weitsichtigkeit wird beim Menschen mit Pluslinsen korrigiert, die die ankommenden Strahlen stärker konvergent machen. Es wird zwischen Brechungshyperopie und Achsenhyperopie unterschieden.

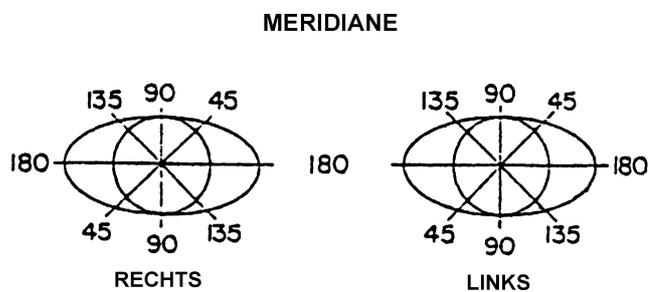
Bei der Brechungshyperopie ist die Brechkraft des optischen Systems des Auges zu gering (HOLLWICH 1988). Sie liegt z. B. beim aphaken, also linsenlosen Auge, als Folge einer Kataraktoperation vor (LEYDHECKER und GREHN 1993).

Bei der Achsenhyperopie des Menschen ist das Auge im Verhältnis zur Brechkraft zu kurz (HOLLWICH 1988). Beim Hund kann nach NOWAK und NEUMANN (1987) Hyperopie ebenfalls durch eine unterdurchschnittliche Bulbuslänge bedingt sein.

### 2.5.2 Asphärische Brechungsfehler (Astigmatismus)

Astigmatismus entsteht, wenn die Hornhaut nicht kugelförmig (sphärisch) gewölbt ist, sondern in einer Achse des Kreises eine stärkere Krümmung aufweist, so daß sie im Extremfall die Form eines Zylinders annimmt (REIM 1990). Lichtstrahlen werden bei astigmatischen Augen nicht in einem Punkt, sondern in einer Linie auf der Netzhaut vereinigt, so daß ein unscharfes Bild entsteht (LEYDHECKER und GREHN 1993). Beim Menschen wird vermutet, daß unkorrigierter Astigmatismus im frühen Leben zu Veränderungen der neuralen Organisation des visuellen Systems führt, da ein über mehrere Jahre bestehender hoher Astigmatismus (4 dpt bis 4,5 dpt) zu einem Verlust an Sehschärfe führt, der als meridionale

Amblyopie bezeichnet wird (MITCHELL und WILKINSON 1974). Als Hauptmeridiane werden die am stärksten und geringsten brechenden Meridiane eines Auges bezeichnet. Ein Meridian ist eine imaginäre Linie auf der Oberfläche eines sphärischen Körpers (DAVIDSON 1997) (siehe Abbildung 4).



**Abb. 4: Standardbezeichnung für okulare Meridiane (nach CORBOY 1996)**

Nach dem Hornhautmeridian, der am stärksten bricht, wird zwischen Astigmatismus nach der Regel (Astigmatismus rectus) und Astigmatismus gegen die Regel (Astigmatismus inversus) unterschieden (LEYDHECKER und GREHN 1993, CORBOY 1996).

Beim Astigmatismus nach der Regel bricht der vertikale Meridian (75 bis 105 Grad) stärker als der horizontale Meridian (165 bis 15 Grad) (CORBOY 1996).

Beim Astigmatismus gegen die Regel bricht der horizontale Meridian stärker als der vertikale Meridian (CORBOY 1996).

Nach dem Brechungszustand der Hauptmeridiane wird der Astigmatismus in verschiedene Typen unterteilt:

Einfach myoper oder hyperoper Astigmatismus: Ein Meridian ist emmetrop und der andere myop oder hyperop (CORBOY 1996).

Zusammengesetzter myoper oder hyperoper Astigmatismus: Beide Meridiane sind unterschiedlich stark myop oder hyperop (CORBOY 1996).

Gemischter Astigmatismus: Ein Meridian ist myop, und der andere Meridian ist hyperop (CORBOY 1996).

Nach der Lage der Hauptmeridiane zueinander wird zwischen regelmäßigem, unregelmäßigem (LEYDHECKER und GREHN 1993, CORBOY 1996) und schiefer Astigmatismus unterschieden (CORBOY 1996): Beim regelmäßigen Astigmatismus stehen die beiden Hauptmeridiane senkrecht zueinander. In der Regel befinden sie sich bei 90 und 180 Grad (CORBOY 1996). Beim unregelmäßigen Astigmatismus, der z.B. durch Hornhautnarben oder einen Keratokonus verursacht wird, stehen die Hauptmeridiane nicht senkrecht zueinander (HOLLWICH 1988). Beim schiefer Astigmatismus stehen die Hauptmeridiane ebenfalls senkrecht zueinander, befinden sich jedoch nicht in der 90 und 180 Grad Position, sondern z.B. bei 45 und 135 Grad (CORBOY 1996).

## 2.6 Skiaskopie

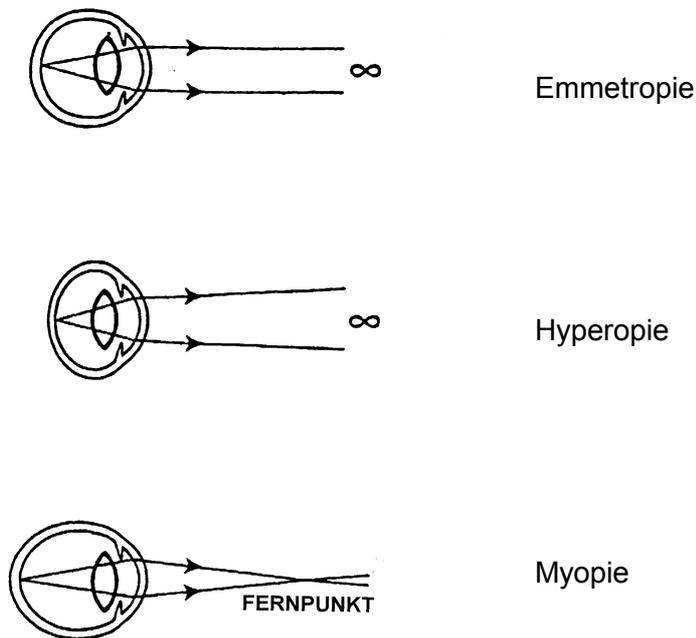
### 2.6.1 Das Prinzip der Skiaskopie

Die Skiaskopie (Skia = Schatten) ist eine Methode aus der Humanmedizin, die der Messung der Brechkraft des Auges und damit der Bestimmung von Brechungsfehlern wie Kurz- und Weitsichtigkeit und Astigmatismus dient. In englischsprachigen Ländern wird die Skiaskopie Retinoskopie genannt. Die Methode ist objektiv, weil mit ihr unabhängig von Patientenangaben die Brechkraft des Auges bestimmt werden kann (CORBOY 1996). Sie ist heute das einzige Verfahren zur Refraktionsbestimmung in der Veterinärmedizin (DAVIDSON 1997). In der Humanmedizin wird die Skiaskopie vor allem bei Kleinkindern und Säuglingen eingesetzt (CORBOY 1996). Das Prinzip der Skiaskopie wurde bereits 1873 von Cuignet entwickelt. Früher wurden in der Veterinärmedizin auch andere Methoden zur objektiven Bestimmung von Brechungsfehlern angewandt (BODEN 1909, KISTLER 1927). Darunter fallen die Untersuchung im aufrechten Bild, bei der das Auge mit einem Refraktionsophthalmoskop gespiegelt wird (BODEN 1909, KISTLER 1927), und die Refraktionsbestimmung nach Schmidt-Rimpler, bei der im umgekehrten Bild ophthalmoskopiert wird (BODEN 1909).

Es wird zwischen Fleck- und Strichskiaskopie unterschieden. Fleckskiaskope projizieren einen kreisförmigen Lichtstrahl, während Strichskiaskope das Licht in Form eines Strichs abgeben. Die Strichskiaskope sind eine Weiterentwicklung der Fleckskiaskope und haben diese fast vollständig verdrängt. Sie erleichtern insbesondere das Erkennen und die Bestimmung von astigmatischen Brechungsfehlern (CORBOY 1996). Im Folgenden wird deshalb nur die Methode der Strichskiaskopie beschrieben.

Bei der Skiaskopie wird die Netzhaut mit parallelen Lichtstrahlen beleuchtet. Diese werden von ihr wieder reflektiert und bei ihrem Verlauf durch die lichtbrechenden Komponenten des Auges, abhängig vom Brechungszustand des Auges, beeinflusst (CORBOY 1996). Die Beobachtung dieser reflektierten Lichtstrahlen mit dem Skiaskop erlaubt die objektive Bestimmung des Brechungsfehlers eines Auges (ROE und GUYTON 1984b). Die Skiaskopie macht sich zunutze, daß die Lichtstrahlen, die von der beleuchteten Netzhaut reflektiert werden, das Auge auf die gleiche Weise verlassen und vom optischen Apparat des Auges auf die gleiche Weise gebrochen werden, wie die in das Auge eintretenden Strahlen (DAVIDSON 1997). Entsprechend werden parallele Lichtstrahlen, die auf die Netzhaut eines emmetropen Auges treffen, auch als parallele Lichtstrahlen reflektiert und parallele Lichtstrahlen, die auf die Netzhaut eines hyperopen Auges oder myopen Auges treffen, als divergierende bzw. konvergierende Lichtstrahlen reflektiert (DAVIDSON 1997) (siehe Abbildung 5).

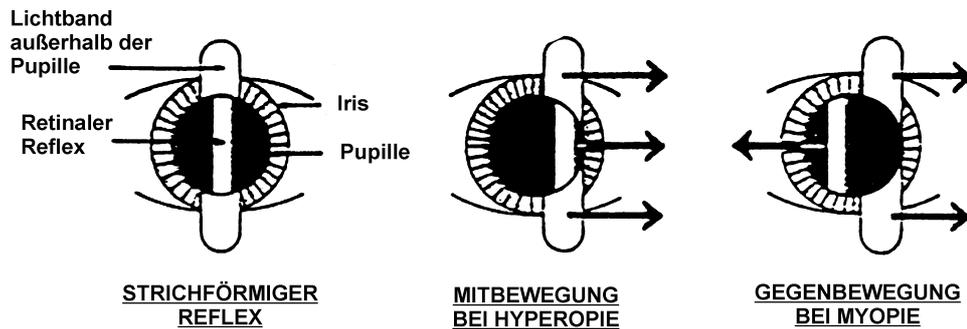
#### REFLEKTIERTE STRAHLEN



**Abb. 5: Verlauf der von der Netzhaut reflektierten Strahlen in Abhängigkeit vom Brechungszustand des Auges (nach DAVIDSON 1997)**

Die reflektierten Strahlen sind durch eine Öffnung im Skiaskop in Form eines strichförmigen Reflexes in der Pupille sichtbar. Der projizierte Lichtstrahl erscheint als Lichtband außerhalb der Pupille (CORBOY 1996). Bei Hund und Katze leuchtet der retinale Reflex entsprechend der Farbe des Tapetum lucidums grün-gelblich.

Wird der strichförmige Reflex senkrecht zu seiner Achse über die Pupille des Patienten bewegt, indem leichte Pendelbewegungen mit dem Skiaskop durchgeführt werden, folgt dem Reflex ein Schatten (DAVIDSON 1997). Die Bewegungsrichtung des retinalen Reflexes und die Richtung, in die der Untersucher den projizierten Lichtstrahl außerhalb der Pupille bewegt, sind gleich, wenn der Fernpunkt des Patientenauges noch hinter dem Untersucher liegt, sich die zurückkommenden Strahlen also noch nicht in einem Punkt vereinigt haben. Dies ist bei Hyperopie der Fall. Die Bewegung des retinalen Reflexes und des Lichtbandes außerhalb der Pupille erfolgt entgegengesetzt, wenn sich die aus der Pupille zurückkommenden Strahlen zwischen dem Auge des Patienten und dem Untersucher überkreuzt haben. Dies ist bei Kurzsichtigkeit zu sehen (CORBOY 1996) (siehe Abbildung 6).



**Abb. 6: Bewegung des retinalen Reflexes in Abhängigkeit vom Brechungs-  
zustand des Auges (nach CORBOY 1996)**

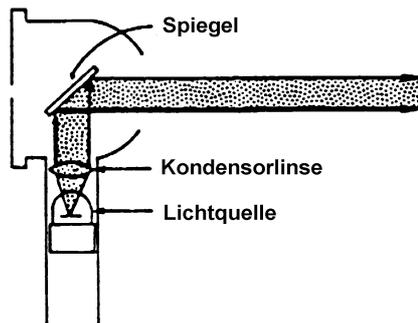
Durch das Halten von Linsen direkt vor das Patientenauge, die in abgestuften Stärken aufgereiht sind, kann der Fernpunkt des Patienten Auges in die Öffnung des Skiaskopes verschoben werden und der Übergang von einer mitläufigen in eine gegenläufige Bewegung oder umgekehrt ermittelt werden. Dieser Übergang ist der Neutralpunkt oder Flackerpunkt. Er zeigt an, daß sich die reflektierten Strahlen aus dem Patientenauge gerade im Auge des Untersuchers treffen. Beim Neutralpunkt ist die Pupille des Patienten Auges vollständig mit Licht ausgefüllt, es ist kein strichförmiger Reflex sichtbar und keine Bewegung möglich (CORBOY 1996). Folgt dem retinalen Reflex eine Schattenbewegung, werden Pluslinsen, die eine stärkere Konvergenz der reflektierten Strahlen erzeugen, in abgestuften Stärken vor das Patientenauge gehalten, bis der Neutralpunkt gesehen wird. Bei einer gegenläufigen Schattenbewegung werden Minuslinsen, die die Divergenz der reflektierten Strahlen erhöhen, bis zum Neutralpunkt vor das Patientenauge gehalten (CORBOY 1996).

Die Dioptrienzahl der vorgehaltenen Linse, bei der der Neutralpunkt gesehen wird, entspricht dann, vorausgesetzt der Untersucher befindet sich in einem unendlich großen Abstand von dem Patienten, der Refraktion des Patienten Auges. Da das Unendliche des Auges bei zirka 5 m liegt, in diesem Abstand eine skiaskopische Untersuchung jedoch nicht möglich ist, muß Unendlichkeit simuliert werden (CORBOY 1996). Dies geschieht, indem das dioptrische Äquivalent des Untersuchungsabstandes von der Brechkraft der Linse, mit der der Neutralpunkt gesehen wird, abgezogen wird (ROE und GUYTON 1984b). Von der sogenannten Bruttorefraktion wird also der dioptrische Gegenwert des Untersuchungsabstandes abgezogen und somit die Nettherefraktion bestimmt (CORBOY 1996). In der Regel wird je nach Armlänge ein Untersuchungsabstand von 66 cm oder 50 cm gewählt. Das dioptrische Äquivalent eines Untersuchungsabstandes von 66 cm ist +1,5, da 66 cm Brennweite einer Brechkraft von +1,5 dpt entsprechen. Bei diesem Untersuchungsabstand können mit einer +1,5 dpt Linse die reflektierten parallelen Strahlen eines emmetropen Auges zu einem Brennpunkt zusammengeführt werden und damit der Neutralpunkt gesehen werden. Bei einem Abstand von 50 cm ist eine +2,0 dpt Linse notwendig, um den Neutralpunkt eines emmetropen Auges zu sehen (CORBOY 1996).

## 2.6.2 Aufbau des Strichskioskops

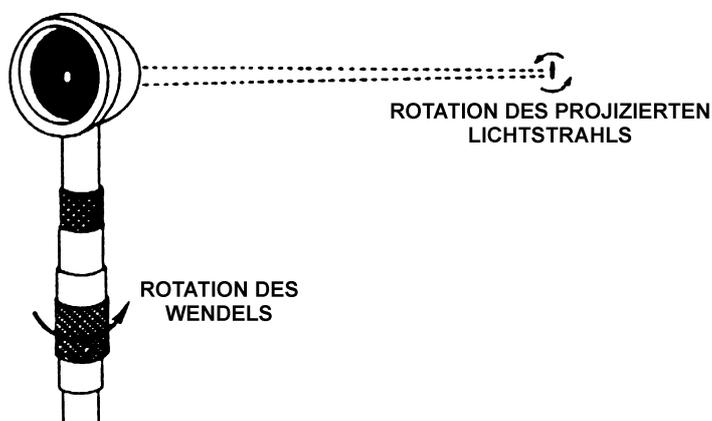
Das Strichskioskop setzt sich aus einem Projektions- und einem Observationssystem zusammen (CORBOY 1996).

Das Projektionssystem wirft die Lichtstrahlen auf den Augenhintergrund. Es besteht aus einer Lichtquelle, einer Kondensorlinse, einem Spiegel, einem fokussierenden Wendel und einer Energiequelle (CORBOY 1996) (siehe Abbildung 7).



**Abb. 7: Projektionssystem (nach CORBOY 1996)**

Die Lichtquelle ist eine rotierbare Glühbirne mit einem linearen Draht, die das Licht in Form eines Strichs projiziert. Sie läßt sich rotieren, indem der Wendel gedreht wird (CORBOY 1996) (siehe Abbildung 8).



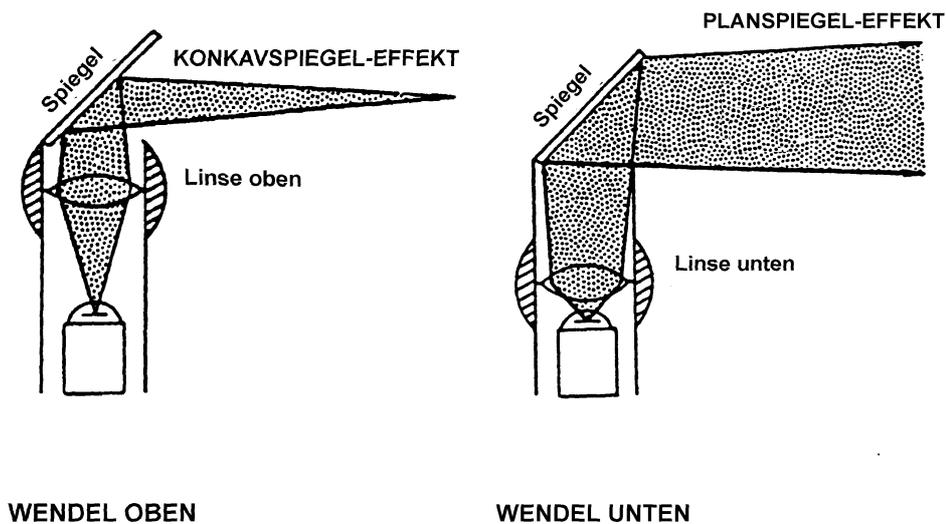
**Abb. 8: Durch Drehen des Wendels läßt sich der projizierte Lichtstrahl rotieren (nach CORBOY 1996)**

Die Kondensorlinse fokussiert die Lichtstrahlen von der Glühbirne auf den angewinkelten Spiegel, von dem sie so abgelenkt werden, daß sie im rechten Winkel zur Achse des Handgriffes verlaufen (CORBOY 1996).

Der Wendel läßt nicht nur den projizierten Lichtstrahl rotieren, sondern beeinflusst auch, da durch ihn der Abstand zwischen Glühbirne und Linse verändert werden kann, den Verlauf der Lichtstrahlen. Dies wird durch Hoch- und Herunterschieben des Wendels erreicht, wodurch die projizierten Lichtstrahlen entweder parallel oder leicht divergierend (Planspiegel-

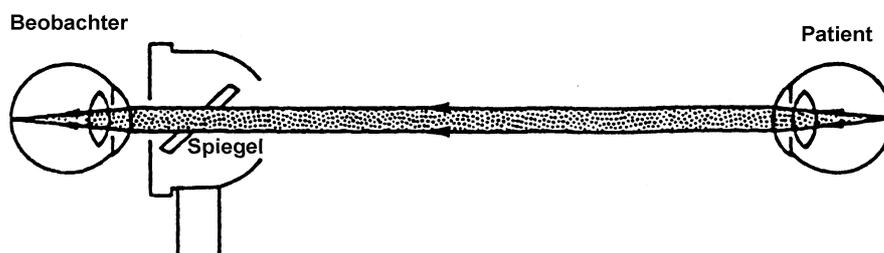
Effekt) oder konvergierend (Konkavspiegel-Effekt) verlaufen. Mit dem Effekt des konkaven Spiegels wird die Umkehrung einer vorliegenden Bewegungsrichtung erzielt. Eine gegenläufige Bewegung wird also in eine mitläufige Bewegung und umgekehrt überführt. Der Einsatz dieses Effektes ist nur bei Zweifeln über eine gegenläufige Bewegung von praktischer Relevanz, da der Reflex einer mitläufigen Bewegung in der Regel eindeutig ist (CORBOY 1996).

Beim Heine und Welch Allyn Skiaskop wird der Planspiegel-Effekt erzeugt, wenn sich der Wendel in der unteren Position befindet und der Konkavspiegel-Effekt, wenn sich der Wendel in oberer Position befindet (siehe Abbildung 9). Bei den Copeland Instrumenten liegt der umgekehrte Fall vor (CORBOY 1996).



**Abb. 9: Konkav- und Planspiegeleffekt (nach CORBOY 1996)**

Mit Hilfe des Observationssystems kann der Fundusreflex gesehen werden. Ein Teil des von der beleuchteten Netzhaut reflektierten Lichtes tritt durch ein Loch im Spiegel wieder in das Skiaskop ein und gelangt durch eine Öffnung auf der Rückseite des Skiaskops in das Auge des Untersuchers (CORBOY 1996) (siehe Abbildung 10).



**Abb. 10: Observationssystem (nach CORBOY 1996)**

### 2.6.3 Linsen

In der Veterinärmedizin werden in der Regel Skiaskopierleisten benutzt, in denen sphärische Plus- und Minuslinsen in abgestuften Stärken von 0,5 bis 1,0 dpt aufgereiht sind. Ein Neutralpunkt, der gerade in einem Dioptrienbereich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Linsen liegt, kann nicht gesehen werden, sondern nur der Wechsel von einer mitläufigen

Bewegung bei der einen Linse in eine gegenläufige Bewegung bei der nächst höheren Linse. Der Neutralpunkt ist dann der Durchschnittswert von beiden aufeinanderfolgenden Linsenstärken (DAVIDSON 1997). Die Leisten sind mit einem Griff versehen und besitzen üblicherweise eine unterschiedliche Farbe: In den USA sind die Pluslinsen in schwarzen und die Minuslinsen in roten Leisten aufgereiht. In Europa liegt in der Regel die umgekehrte Farbgebung vor (DAVIDSON 1997).

#### **2.6.4 Durchführung der Skiaskopie**

Eine akkurate Brechkraftbestimmung erfordert eine beständige Akkommodation des Patienten, deren Höhe zum Zeitpunkt der Messung bekannt sein muß (OWENS et al. 1980). Bei Tieren ist eine Kontrolle der Akkommodation nur durch deren Ausschaltung möglich, so daß in der Veterinärmedizin in der Regel vor der Refraktionsbestimmung Zykloplegika eingesetzt werden (BODEN 1909, DERKSEN 1920, KAHMANN 1930, WEBER 1961, POLLET 1982, NOWAK und NEUMANN 1987, MURPHY et al. 1992, MUTTI et al. 1999). Bei der Skiaskopie mit dilatierter Pupille des Patienten, zu der es nach dem Einsatz eines Zykloplegikums kommt, sollte der Reflex nur im Zentrum der Pupille beurteilt werden (FRIEDBURG 1990, CORBOY 1996), da in der Peripherie Aberrationen auftreten, die die Interpretation des Reflexes erschweren und zu Fehlern in der Refraktionbestimmung führen können (CORBOY 1996).

Das Skiaskop wird mit einer Hand umgriffen, mit deren Daumen auch der Wendel bewegt werden kann. Mit der anderen Hand, mit der sich der Untersucher gleichzeitig auf dem Kopf des Patienten abstützt, wird die Skiaskopierleiste gehalten. Sie wird entweder zwischen Daumen und Zeigefinger oder an ihrem Griff gehalten und dabei so nah wie möglich vor das Patientenaugengebracht, um den Abstand zwischen Skiaskopierlinse und Hornhaut möglichst klein zu halten. Der Untersucher befindet sich in dem gewählten Untersuchungsabstand vom Patientenaugenge. Dieser sollte bei Anfängern mit Hilfe eines Meßbandes immer wieder überprüft werden, da bei verändertem Abstand Fehler in der Brechkraftbestimmung auftreten. Das Skiaskop wird an die Augenbraue gehalten. Während der Skiaskopie hält der Untersucher beide Augen offen. Das rechte Patientenaugenge sollte mit dem rechten und das linke mit dem linken Auge skiaskopiert werden. Der Kopf des Tieres wird von einem Helfer so fixiert, daß seine Blickrichtung möglichst mit der des Untersuchers übereinstimmt (DAVIDSON 1997). Es ist wichtig, daß die Blickrichtung des Untersuchers durch das Skiaskop in der optischen Achse des Patientenauges liegt. Das ist dann der Fall, wenn die drei kleinen Lichtreflexe (Purkinje Bilder), die von der Hornhaut und der vorderen und hinteren Linsenkapsel ausgehen und auf dem Patientenaugenge sichtbar sind, weitgehend im Zentrum der Pupille übereinander liegen (CORBOY 1996, DAVIDSON 1997). Bei der Skiaskopie außerhalb der optischen Achse entstehen falsche Reflexe, die zu einer ungenauen Bestimmung des Brechungsfehlers führen (MOHINDRA 1977, CORBOY 1996, DAVIDSON 1997).

Der retinale Reflex wird in der Regel zuerst auf dem vertikalen und dann auf dem horizontalen Meridian senkrecht zu seiner Achse über die Pupille bewegt und die entstehende Schattenbewegung als mit- oder gegenläufig beurteilt bzw. der Reflex als Neutralpunkt identifiziert (CORBOY 1996).

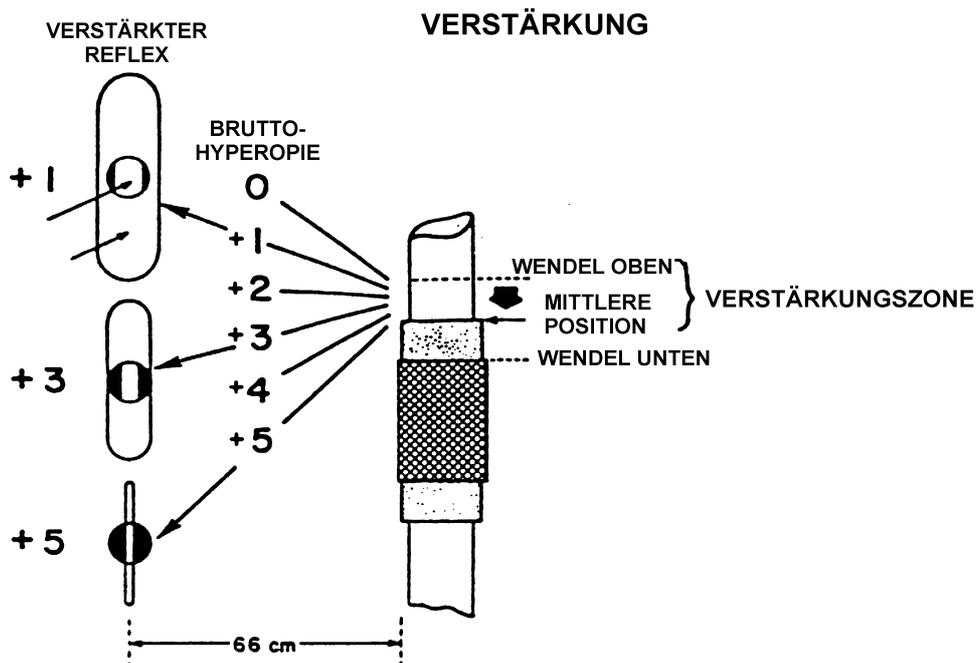
Um zu überprüfen, ob ein Astigmatismus vorliegt, wird verglichen, ob die Reflexe auf den unterschiedlichen okularen Meridianen in ihrer Geschwindigkeit, Helligkeit und Breite über-

einstimmen. Dies ist nur bei einem sphärischen Auge der Fall, bei dem alle okularen Meridiane die gleiche Brechkraft besitzen (CORBOY 1996).

#### **2.6.4.1 Aufsuchen des Neutralpunktes bei einem sphärischen Auge**

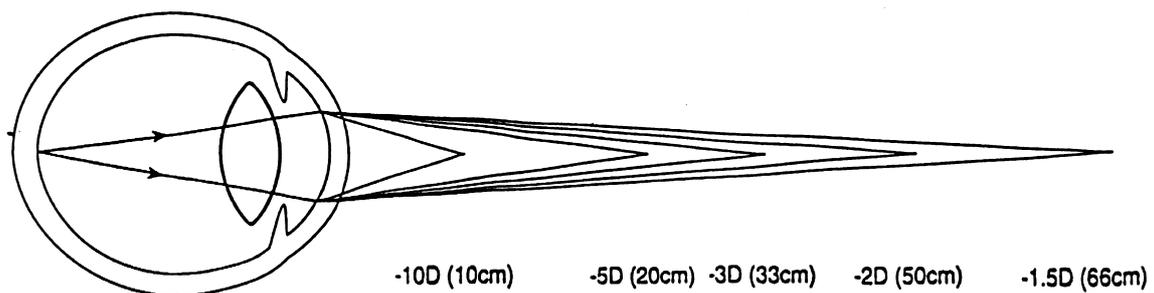
Liegt ein sphärisches Auge vor, wird die Höhe des Brechungsfehlers beurteilt, bevor Linsen vor das Auge gehalten werden. Der Untersucher betrachtet dafür die Geschwindigkeit, die Helligkeit und die Breite des retinalen Reflexes. Die Geschwindigkeit, mit der der retinale Reflex mit dem Skiaskop über die Pupille bewegt werden kann, ist umso höher, je geringer der Brechungsfehler ist. Außerdem ist der retinale Reflex umso heller und breiter, je geringer der Brechungsfehler ist (CORBOY 1996), da dann die Lichtstrahlen stärker auf der Netzhaut fokussiert sind und somit die Reflektion des Lichtes von einem kleineren Bereich mit einer größeren Intensität ausgeht (ROE und GUYTON 1984a). Die Helligkeit des Reflexes ist besonders bei Tieren mit einem Tapetum ein geeignetes Kriterium zur Abschätzung der Höhe des vorliegenden Brechungsfehlers (DAVIDSON 1997).

Zeigt der retinale Reflex eine mitläufige Schattenbewegung, so kann mit der sogenannten Verstärkungsmethode die Stärke der Pluslinse, die nötig ist, um den Neutralpunkt zu sehen, bis zu einer Höhe von fünf Dioptrien geschätzt werden. Dabei wird der Wendel langsam in Richtung der Position geschoben, in der der Konkavspiegel-Effekt erzeugt wird, bis der hellste, schärfste und schmalste Fundusreflex erscheint. Der retinale Reflex wird auf diese Weise verstärkt. Die Breite dieses schmalsten retinalen Reflexes wird mit der Breite des projizierten Lichtstrahls außerhalb der Pupille auf der Oberfläche des Auges verglichen. Bis zu einer Hyperopie von einer Dioptrie läßt sich der retinale Reflex nicht verstärken. In den Bereichen von zwei bis vier Dioptrien ist der retinale Reflex schmäler als der projizierte Lichtstrahl außerhalb der Pupille. Ab fünf Dioptrien sind der retinale Reflex und der Lichtstrahl außerhalb der Pupille von gleicher Breite, und der Wendel befindet sich etwa auf halber Höhe. Eine weitere Verschiebung des Wendels hebt den retinalen Reflex auf. Mit der Linse der geschätzten Dioptrienzahl wird dann der Neutralpunkt, der immer mit leicht divergierendem Strahlengang (Planspiegel-Effekt) aufgesucht wird, ermittelt (CORBOY 1996). Dadurch, daß mit dieser Methode weniger Linsen vor das Patientenaug e gehalten werden müssen, verringert sich die Untersuchungszeit, was in der Veterinärmedizin insbesondere bei wehrhaften Patienten von Vorteil ist (DAVIDSON 1997) (siehe Abbildung 11).



**Abb. 11: Veränderung des retinalen Reflexes und des Lichtbandes außerhalb der Pupille bei der Verstärkungsmethode zur Abschätzung der Bruttorefraktion bei Hyperopie (nach CORBOY 1996)**

Um die Höhe einer Myopie ohne vorgehaltene Linsen abzuschätzen, lehnt sich der Untersucher so weit hinter seinen Untersuchungsabstand zurück, bis er eine mitläufige Bewegung sieht, um sich dann wieder nach vorne zu bewegen, bis der Neutralpunkt erreicht wird. Der Abstand zwischen Untersucher- und Patientenaug, bei dem der Neutralpunkt gesehen wird, läßt dann auf die Höhe der vorliegenden Myopie schließen. Dieser Abstand ist umso kleiner, je höher die Kurzsichtigkeit ist (CORBOY 1996) (siehe Abbildung 12).



**Abb. 12: Abhängigkeit der Höhe der Myopie von der Fernpunktlokalisation (nach DAVIDSON 1997)**

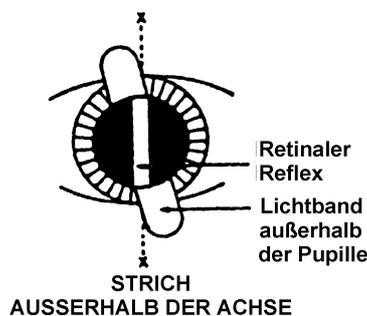
Hohe sphärische Brechungsfehler sind schwerer zu erkennen als niedrige, da bei ihnen häufig kein Reflex oder nur ein sehr undeutlicher zu sehen ist. In dieser Situation muß entschieden werden, ob ein opakes Medium oder ein hoher Brechungsfehler vorliegt. Dies ge-

schiebt durch das Vorhalten von starken Plus- oder Minuslinsen (+5 oder -5 dpt), durch die bei einem hohen Brechungsfehler ein eindeutiger Reflex erzeugt wird (CORBOY 1996).

#### 2.6.4.2 Aufsuchen des Neutralpunktes bei einem asphärischen Auge

Beim Vorliegen eines Astigmatismus wird zunächst die genaue Lage der beiden Hauptmeridiane bestimmt. Diese sind in der Regel bei oder in der Nähe der 90 Grad und 180 Grad Achse lokalisiert. Sie können nicht gleichzeitig mit einer Linse neutralisiert werden, so daß zwei Neutralpunkte bestimmt werden müssen (CORBOY 1996). Die Hauptmeridiane können durch die Beobachtung von vier Phänomenen identifiziert werden, die auftreten, wenn die Strichachse des Skiaskopes nicht über ihnen liegt.

1. Bei dem sogenannten Bruchphänomen ist die Linie, die von dem retinalen Reflex und von dem projizierten Lichtstrahl außerhalb der Pupille gebildet wird, gebrochen. Das Bruchphänomen tritt nicht bei Astigmatismus unter einer Dioptrie auf (siehe Abbildung 13).



**Abb. 13: Bruchphänomen (nach CORBOY 1996)**

2. Der retinale Reflex ist am schmalsten, wenn er sich in der richtigen Achse befindet.

3. Der Reflex ist in der korrekten Achse am hellsten.

Diese drei Phänomene sind bei Rotation des Strichs über die Oberfläche des Auges sichtbar.

Das 4. Phänomen tritt in Erscheinung, wenn der retinale Reflex senkrecht zu seiner Achse in beide Richtungen bewegt wird. Dabei wandern der strichförmige Reflex und der projizierte Lichtstrahl außerhalb der Pupille in unterschiedliche Richtungen, wenn Strich und Hauptmeridian nicht übereinanderliegen. Sobald der Strich in die korrekte Achse gebracht wird, bewegen sich der retinale Reflex und der Lichtstrahl außerhalb der Pupille parallel (CORBOY 1996).

In der Veterinärmedizin wird der Neutralpunkt in der Regel nur mit sphärischen Linsen aufgesucht (DAVIDSON 1997). Beim Aufsuchen der beiden Neutralpunkte beim astigmatischen Auge mit einer sphärischen Linse wird zunächst der Neutralpunkt des einen Hauptmeridians bestimmt, der Strich rotiert und dann der Neutralpunkt des anderen Hauptmeridian aufgesucht. Bei der Skiaskopie eines astigmatischen Auges wird also jeder Hauptmeridian wie ein einzelnes Auge behandelt (CORBOY 1996). Der Brechungszustand eines astigmatischen Auges wird häufig als Durchschnittswert beider Meridiane angegeben (DAVIDSON 1997).

## **2.7 Brechungszustand des normophaken Hundes**

Die Angaben in der Literatur über das Auftreten und die Häufigkeit von Emmetropie, Myopie und Hyperopie beim Hund sind widersprüchlich.

### **2.7.1 Vorkommen von Emmetropie**

Bei DUBAR und THIEULIN (1927) und KAHMANN (1930) waren die meisten Hunde emmetrop. In anderen Untersuchungen traten normalsichtige Hunde bzw. Augen zu 10% bis 55% auf (WEBER 1961, POLLET 1982, NOWAK und NEUMANN 1987). Bei BODEN (1909) wies dagegen kein Hund einen emmetropen Brechungszustand auf (siehe Tabelle 5).

### **2.7.2 Vorkommen von Myopie**

Der Großteil der Refraktionsuntersuchungen kommt zu dem Ergebnis, daß der Hund durchschnittlich myop ist (BODEN 1909, DERKSEN 1920, WEBER 1961, WYMAN und DONOVAN 1965, NOWAK und NEUMANN 1987, GAIDDON et al. 1996, NEUMANN et al. 1998) (siehe Tabelle 6). Die Häufigkeit von kurzsichtigen Hunden bzw. Augen wird mit 37 – 58% angegeben (WEBER 1961, POLLET 1982, NOWAK und NEUMANN 1987). BODEN (1909) stellte bei Hunden sogar ausschließlich Myopie fest (siehe Tabelle 5). Auch bei WYMAN und DONOVAN (1965) traten keine weitsichtigen Hunde auf (siehe Tabelle 6).

Die durchschnittliche Myopie beim Hund beträgt in der Regel weniger als -1 dpt (DERKSEN 1920, WEBER 1961, NOWAK und NEUMANN 1987, MURPHY et al. 1992, GAIDDON et al. 1996, NEUMANN et al. 1998). BODEN (1909) stellte dagegen eine deutlich höhere mittlere Kurzsichtigkeit von -3,2 dpt bei Hunden fest. Auch die von BODEN (1909) ermittelte maximale Kurzsichtigkeit beim Hund von -6 dpt ist höher als bei den anderen Untersuchern, die Myopie von höchstens -1 dpt bis -4,5 dpt bestimmten (HESS und HEINE 1898, DUBAR und THIEULIN 1927, KISTLER 1927, WEBER 1961, WYMAN und DONOVAN 1965, POLLET 1982, NOWAK und NEUMANN 1987, MURPHY et al. 1992, GAIDDON et al. 1996, MUTTI et al. 1999) (siehe Tabelle 6).

#### **2.7.2.1 Theorien zur Ursache der Myopie beim Hund**

BODEN (1909) und DERKSEN (1920) sind der Meinung, daß Kurzsichtigkeit dem Hund angeboren ist. Unterschiedliche Ausprägungsgrade der Myopie bei Hunden sind die Folge visueller Anpassungsvorgänge an unterschiedliche Umgebungsverhältnisse (BODEN 1909) bzw. das Resultat der Übung des Gesichtssinnes (DERKSEN 1920). Myopie hat sich nach Ansicht von BODEN (1909) zum normalen Brechungszustand des Hundes als Folge seiner Lebensweise entwickelt. Aufgrund seines begrenzten Lebensraumes ist der Hund weniger auf eine gute Sehfähigkeit angewiesen als freilebende Tiere. Die mangelnde Beanspruchung seines Sehvermögens führt zu einer herabgesetzten Sehschärfe. Der ausgeprägte Geruchssinn des Hundes gleicht des weiteren die mangelnde Sehkraft aus. Außerdem ist das Hundeauge wegen seiner anatomischen Verhältnisse, insbesondere aufgrund seines Langbaus und seiner starken Korneawölbung, zur Myopie prädisponiert (BODEN 1909).

GAIDDON et al. (1996) vermuten ebenfalls, daß Umgebungsfaktoren den Brechungszustand des Hundes beeinflussen. Hunde, die in Verhältnissen leben, in denen das Nahsehen wichtiger ist, tendieren zur Entwicklung eines myopen Brechungszustandes, während Hunde, deren Sehen in die Ferne stärker stimuliert wird, zur Weitsichtigkeit neigen. Sie sind

der Meinung, daß diese Adaptation nicht das Ergebnis einer genetischen Evolution sein kann, da Hunde selektiv gezüchtet werden.

MURPHY et al. (1992) weisen nur bei bestimmten Hunderassen (Deutscher Schäferhund, Rottweiler und Zwergschnauzer) eine höhere Myopie nach. Bei ihnen sind z.T. ganze Familien von Myopie betroffen, während andere völlig frei von Kurzsichtigkeit sind. Dies läßt die Autoren auf eine familiäre Neigung bzw. erbliche Komponente bezüglich des Auftretens von Myopie bei Hunden schließen.

### **2.7.2.2 Theorien zur Entstehung der axialen Myopie des Menschen**

Ob das verstärkte axiale Wachstum des Auges bei der Myopie des Menschen genetisch determiniert ist oder ob es durch visuelle Erfahrungen hervorgerufen wird, wird kontrovers diskutiert (SCHAEFFEL und HOWLAND 1995).

#### **2.7.2.2.1 Die Bedeutung der Vererbung in der Entstehung von Myopie**

In epidemiologischen Studien konnte zum Teil eine signifikante Beziehung zwischen elterlicher Myopie und dem Refraktionszustand ihrer Kinder nachgewiesen werden (PÄRSSINEN und LYYRA 1993, ZADNIK et al. 1994, HUI et al. 1995). In anderen Untersuchungen wiesen dagegen nur Geschwister häufiger eine ähnliche Brechkraft auf, während zwischen den Brechungsfehlern der Eltern und ihren Nachkommen keine Beziehung bestand (YOUNG et al. 1969, ALSBIRK 1979, BULLIMORE 1989). Die Entwicklung eines ähnlichen Brechungs Zustandes von Geschwistern wird auf die gleichartigen Umweltbedingungen, unter denen Geschwister aufwachsen und die damit verbundenen ähnlichen visuellen Erfahrungen, die sie machen, zurückgeführt (YOUNG et al. 1969, ALSBIRK 1979, BULLIMORE 1989).

#### **2.7.2.2.2 Der Einfluß von Umgebungsfaktoren auf die Entstehung von Myopie**

Tierstudien, in denen durch die künstliche Erzeugung undeutlicher Netzhautbilder Myopie infolge Bulbusverlängerung erzeugt wurde, haben gezeigt, daß visuelle Erfahrung für das normale Wachstum des Auges notwendig ist (SCHAEFFEL et al. 1988), die Myopie des Menschen also nicht nur erblich bedingt sein kann (WILDSOET und WONG 1999). Undeutliche Netzhautbilder wurden bei jungen Tieren unterschiedlicher Arten durch den chirurgischen Verschluß der Augenlider (RAVIOLA und WIESEL 1985, MARSH-TOOTLE und NORTON 1989), die Befestigung von Sichtversperren vor die Augen (TROILO et al. 1987, WALLMAN und ADAMS 1987) oder durch das Aufsetzen von hohen negativen Linsen (SMITH et al. 1980) produziert. Unscharfes Sehen kann jedoch nicht der alleinige Auslöser des verstärkten okularen Wachstums sein, da die Vortäuschung hoher Kurz- oder Weit-sichtigkeit durch die Plazierung entsprechender Linsen vor den Augen bei Tieren ein gegenteiliges Augenwachstum zur Folge hat (WILDSOET und WONG 1999). Hühner und Affen, bei denen auf diese Weise hochgradige Myopie erzeugt wurde, reagierten mit einem verminderten Augenwachstum, während Hühner mit hoher Hyperopie ein verstärktes Augenwachstum zeigten, um den vorgegebenen Brechungsfehler auszugleichen (SCHAEFFEL et al. 1988, WILDSOET und WALLMAN 1995, SCHMID und WILDSOET 1996, SMITH und HUNG 1999). Auch bei Menschen, die früh über längere Zeit Seheinschränkungen durch ein- oder beidseitige okuläre Anomalien erfahren haben, trat vermehrt Myopie auf (RABIN et al. 1981).

### **2.7.2.2.3 Die Rolle der Akkommodation in der Entstehung von Myopie**

Die Rolle der Akkommodation bei der Entstehung der axialen Myopie ist noch nicht geklärt (SCHAEFFEL und HOWLAND 1995). Studien bei Menschen und Tieren lassen vermuten, daß die Höhe der Akkommodation die Entwicklung des Brechungszustandes beeinflußt und eine Ursache von Myopie ist. Unklar bleibt jedoch, warum dieser Einfluß nicht bei jedem Individuum nachzuweisen ist (SCHAEFFEL und HOWLAND 1995). Die Theorie, daß die verstärkte Akkommodation einen ursächlichen Faktor in der Entstehung der Myopie darstellt, ließen die Ergebnisse epidemiologischer Studien aufkommen, die Kurzsichtigkeit vermehrt bei Menschen nachgewiesen haben, die viel Zeit mit Naharbeit, wie z.B. Lesen, verbracht haben (GOLDSCHMIDT 1968, YOUNG et al. 1969, RICHLER und BEAR 1980). Auch Katzen, bei denen künstlich eine erhöhte Beanspruchung der Akkommodation ausgelöst wurde, entwickelten längere Augäpfel als Katzen, bei denen die Akkommodation unbeeinflußt blieb (HENDRICKSON und ROSENBLUM 1985). Ein Zusammenhang zwischen Akkommodation und der Entstehung axialer Myopie konnte jedoch nicht bei allen Spezies hergestellt werden (MCBRIEN et al. 1993b). Die Ausschaltung der Akkommodation durch regelmäßige Gaben von Atropin konnte bei kurzsichtigen Menschen die Progression der Erkrankung vermindern oder sogar aufhalten (BRODSTEIN et al. 1984, KAO et al. 1988) und bei bestimmten Affenspezies die Entwicklung einer induzierten Myopie verhindern (RAVIOLA und WIESEL 1985), was ebenfalls dafür spricht, daß die Akkommodation eine wesentliche Ursache in der Entstehung von Myopie darstellt (BRODSTEIN et al. 1984). Der Umstand, daß langfristige Gaben von Atropin auch bei Hühnern die Entstehung einer experimentell induzierten Myopie verhinderten, obwohl es bei dieser Spezies keinen zykloplegischen Effekt hat, läßt jedoch vermuten, daß die Unterdrückung der Myopie mittels Atropin über einen non-akkommodativen Mechanismus erfolgt (MCBRIEN et al. 1993a).

### **2.7.3 Vorkommen von Hyperopie**

Ein hyperoper Brechungszustand wurde bei 9% bis 33,3% der untersuchten Hunde bzw. Augen ermittelt (WEBER 1961, NOWAK und NEUMANN 1987, MURPHY et al. 1992) (siehe Tabelle 5). In den Untersuchungen von HESS und HEINE (1898) und KAHMANN (1930) waren die Hunde dagegen überwiegend weit- und normalsichtig. KISTLER (1927) ermittelte einen durchschnittlich hyperopen Brechungszustand für den Hund (siehe Tabelle 6).

Bei der Mehrzahl der Untersuchungen wurde Hyperopie bei Hunden von maximal +1 dpt bis +3 dpt bestimmt (HESS und HEINE 1898, DUBAR und THIEULIN 1927, KAHMANN 1930, WEBER 1961, POLLET 1982, NOWAK und NEUMANN 1987, MURPHY et al. 1992, GAIDDON et al. 1996). KISTLER (1927) bestimmte mit +4 dpt eine etwas höhere maximale Weitsichtigkeit beim Hund (siehe Tabelle 6).

#### **2.7.3.1 Theorien zur Entstehung der axialen Hyperopie beim Menschen**

Es wird vermutet, daß Augen mit einer mäßig verminderten Sehschärfe zur Ausbildung eines hyperopen Brechungszustandes neigen (KIORPES und WALLMAN 1995). Zu dieser Theorie haben Tierstudien geführt, die gezeigt haben, daß mildere Formen induzierter Sehbeeinträchtigung, die noch ein gewisses räumliches Sehen und Kontrastsehen ermöglichen, eine Verkürzung des Auges mit Hyperopie hervorrufen, während stärkere Eingriffe, die mit einem Verlust des Formsehens einhergehen, zur Myopie mit Bulbusverlängerung führen (SMITH et al. 1994, KIORPES und WALLMAN 1995). Eine mögliche Erklärung dafür ist, daß das Gehirn das schlecht fokussierte Bild bei mäßiger Schwachsichtigkeit irrtümlich auf das

Vorliegen eines myopen Brechungszustandes zurückführt und deswegen mit einer kompensatorischen Reduktion des okularen Wachstums reagiert (KIORPES und WALLMAN 1995). Die fehlende Neigung des amblyopen Auges - bei dem es sich um ein in der Sehschärfe reduziertes Auge handelt, das keine ophthalmoskopisch feststellbaren Anomalien aufweist (SMITH et al. 1985), - zur Ausbildung eines myopen Brechungszustandes wurde auch bei Menschen beobachtet (LEPARD 1975, NASTRI et al. 1984). Das jeweils gesunde Auge entwickelte während der Jahre des Wachstums häufig einen myopen Brechungszustand, während das im Sehvermögen reduzierte Auge durchschnittlich keine Veränderung seiner Brechkraft zeigte (LEPARD 1975, NASTRI et al. 1984). Einige der amblyopen Augen wurden jedoch weitsichtig (LEPARD 1975).

**Tab. 5: Häufigkeit von Emmetropie, Myopie und Hyperopie beim normophaken Hund**

Anzahl untersuchter Hunde N	Anzahl untersuchter Augen N	Vorkommen von Emmetropie [%]	Vorkommen von Myopie [%]	Vorkommen von Hyperopie [%]	Literatur
100	194	0	100	0	Boden (1909)
180	/	22,2	55,5	23,3	Weber (1961)
/	170	55	37	9	Pollet (1982)
/	50	10	58	32	Nowak und Neumann (1987)
/	480	/	/	33,3	Murphy et al. (1992)

/ = keine Angaben

**Tab. 6: Ergebnisse der Refraktionsuntersuchungen beim normophaken Hund**

Methode	Anzahl Hunde N	Anzahl Augen N	Alter [Mo], [J]	Zykloplegie/ Mydriasis	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Skioskopie	8	/	/	/	/	-1 – +2	Hess und Heine (1898)
Refraktions - bestimmter n. Schmidt-Rimpler	100	194	< 1 J und > 1 J	Atropin	-3,2	-6 bis -1,5	Boden (1909)
Skioskopie n. Roth	100	/	1/4 J - 13 J	Atropin	-0,72	/	Derksen (1920)
Skioskopie	106	/	/	/	0	-4,5 – +2	Dubar und Thieulin (1927)
elektrischer Mortonspiegel	105	105	2 Mo – 17J	Kokain-Homatropin	+0,3583	-3 – + 4	Kistler (1927)
/	3	/	/	Atropin	/	0 – +1,5	Kahmann (1930)
Skioskopie	180	360	1 J – 10 J	Atropin 1%	-0,702	-3,5 – +2,5	Weber (1961)
Skioskopie	/	/	/	kein	-0,44	/	Weber (1961)
Skioskopie	9	/	9 Mo – 59 Mo	Tropicamid 1%	/	-1,75 – 0	Wyman und Donovan (1965)
Skioskopie	85	170	9 Mo – 12 J	Zykloplegikum	/	-2 – +1	Pollet (1982)
Strichskioskopie	25	50	4 Mo – 8 J	Cyclo-pentolat 1%	-0,55	-4 – +1,25	Nowak und Neumann (1987)
Strichskioskopie	25	50	4 Mo – 8 J	kein	-0,54	-4 – +2	Nowak und Neumann (1987)
Strichskioskopie	240	/	/	Cyclo pentolat 1%	-0,27	/	Murphy et al. (1992)
Strichskioskopie	74	136	4 Mo – 13 J	Tropicamid	-0,39	-4 – +3	Gaiddon et al. (1996)
Strichskioskopie	540	/	/	/	-0,6	/	Neumann et al. (1998)

/ = keine Angaben

#### 2.7.4 Brechungszustand in Abhängigkeit der Rasse

MURPHY et al. (1992) maßen bei den von ihnen skioskopierten Hunden zwar durchschnittlich einen myopen Refraktionszustand (siehe Tabelle 6), die Aufschlüsselung nach Rassen zeigte jedoch, daß nur beim Deutschen Schäferhund, der als Haushund gehalten wurde, beim Rottweiler und beim Zwergschnauzer eine mittlere Myopie von mindestens -0,5 dpt auftrat (siehe Tabelle 7). Die übrigen von ihnen untersuchten Rassen wiesen zum Teil sogar einen durchschnittlichen Brechungszustand auf, der im hyperopen Bereich lag. Bei ihnen trat

Myopie zu 24% und damit deutlich seltener auf als beim Deutschen Schäferhund, Rottweiler und Zwergschnauzer, von denen mindestens 50% der Hunde kurzsichtig waren.

MUTTI et al. (1999) bestimmten bei Labrador Retrievern im Mittel einen hyperopen Brechungszustand von +0,55 dpt auf dem rechten Auge und +0,37 dpt auf dem linken Auge (Spannweite: -5 - +3,5 dpt). Zusätzlich fassten sie die durchschnittlichen mittels Skiaskopie bestimmten Brechungsfehler von 771 Hunden unterschiedlicher Rassen zusammen, unter denen sich auch die Ergebnisse der Untersuchung von MURPHY et al. (1992) befinden. Die mittlere Refraktion der Labrador Retriever aus beiden Untersuchungen liegt dabei im leicht myopen Bereich (siehe Tabelle 8).

Die Bestimmung des Brechungszustandes erfolgte von MUTTI et al. (1999) und MURPHY et al. (1992) mit und ohne Zykloplegie. Aus dem Überblick geht hervor, daß verschiedene Rassen im Mittel kurzsichtig (siehe Tabelle 8) und andere weitsichtig (siehe Tabelle 9) sind. Bei der Mehrzahl der Rassen lag die durchschnittlich ermittelte Myopie bei unter -1 dpt und die durchschnittliche Hyperopie unter +1 dpt.

Myopie bis zu -2,14 dpt und Hyperopie bis zu +1,5 dpt war nur vereinzelt zu sehen (siehe Tabellen 8 und 9).

KLEBERGER (1967) und MURPHY et al. (1997) bestimmten nur bei Beaglen den Refraktionszustand, der in beiden Untersuchungen hyperop war (siehe Tabelle 10).

**Tab. 7: Ergebnisse der Refraktionsbestimmung bei durchschnittlich myopen Rassen (MURPHY et al. 1992)**

Rasse	Anzahl Hunde N	Anzahl Augen N	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]
DSH	30	58	-0,86	-4,75 – +1
DSH myop	16	/	-1,93	/
Rottweiler	14	28	-1,77	-5 – +0,75
Rottweiler myop	9	/	-2,89	/
Zwergschnauzer	8	/	-0,66	-2 – +5
Zwergschnauzer myop	4	/	-1,5	/

/ = keine Angaben

**Tab. 8: Zusammenfassende Ergebnisse der Refraktionsbestimmungen bei durchschnittlich myopen Rassen (MURPHY et al. 1992, MUTTI et al. 1999)**

Rasse	Anzahl Hunde N	Mittelwert [dpt]
Amerikanischer Cocker Spaniel	16	-0,36
Deutsche Dogge	5	-0,14
Deutscher Schäferhund	36	-0,79
Labrador Retriever	115	-0,07
Mischling	9	-0,29
Mops	7	-0,29
Norwegischer Elchhund	6	-0,86
Papillon	5	-0,14
Rottweiler	23	-0,93
Samoyede	20	-0,29
Schipperke	7	-0,86
Schottischer Schäferhund	22	-0,25
Collie	49	-0,86
Soft-Coated Wheaten Terrier	13	-0,79
Toy Pudel	42	-2,14
Zwergpudel	42	-0,43
Zwergteckel (glatthaar)	5	-0,79
Zwergschnauzer	18	-1,14

**Tab. 9: Zusammenfassende Ergebnisse der Refraktionsbestimmungen bei durchschnittlich hyperopen Rassen (MURPHY et al. 1992, MUTTI et al. 1999)**

Rasse	Anzahl Hunde N	Mittelwert [dpt]
Alaskan Malamute	21	+1,00
Australischer Schäferhund	37	+1,50
Basenji	16	+0,86
Belgischer Tervuren	8	+0,29
Berner Sennenhund	11	+0,43
Border Collie	7	+0,07
Chesapeake Bay Retriever	13	+0,86
Clumber Spaniel	5	+0,14
Dobermann	6	+0,29
Englischer Springer Spaniel	34	+0,86
Feldspaniel	11	+0,57
Golden Retriever	67	+0,21
Shar Pei	7	+0,12
Sibirischer Husky	15	+0,21

**Tab. 10: Ergebnisse der Refraktionsbestimmungen beim Beagle**

Methode	Rasse	Anzahl Hunde N	Anzahl Augen N	Alter [Mo], [J]	Zykloplegie	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Skiaskopie	Beagle	6	/	3 Mo – 2 J	kein	1	0 – +2,5	Kleberger (1967)
Strichskiaskopie	Beagle	3	/	/	Cyclopentolat 1%	/	0 – +1,5	Murphy et al. (1997)

/ = keine Angaben

### 2.7.5 Brechungszustand in Abhängigkeit des Geschlechts

BODEN (1909), DERKSEN (1920) und NEUMANN et al. (1998) verglichen den durchschnittlichen Refraktionszustand von männlichen und weiblichen Hunden, ohne wesentliche Unterschiede feststellen zu können.

### 2.7.6 Brechungszustand in Abhängigkeit des Alters

In der Untersuchungspopulation von DERKSEN (1920) war die Myopie bei jungen Hunden am stärksten ausgeprägt, nahm bis zum mittleren Alter ab und stieg in den hohen Lebensjahren wieder an. Für das Auftreten höherer Myopie bei jungen Hunden sah er eine mögliche Erklärung darin, daß bei diesen das Sehen in die Ferne noch weniger geübt sei, da sie ihr Interesse mehr auf nahe gelegene Gegenstände konzentrierten. Bei den Hunden im mittleren Alter sei die geringere Myopie dann mit der größeren Erfahrung des Gesichtssinnes zu begründen.

Bei KISTLER (1927), WEBER (1961), MURPHY et al. (1992), NEUMANN et al. (1998) und MUTTI et al. (1999) waren jüngere Hunde dagegen weniger myop als ältere. KISTLER (1927) bestimmte sogar einen durchschnittlich leicht hyperopen Brechungszustand für Hunde unter einem Jahr. Hunde über ein Jahr waren dagegen durchschnittlich myop. Auch KLEBERGER (1967) und MURPHY et al. (1997), die eine kleine Anzahl ausschließlich junger Hunde im Alter bis zu zwei Jahren untersuchten, ermittelten einen mittleren hyperopen Brechungszustand. Bei ihren Untersuchungen wies kein Hund Myopie auf. Die Verschiebung des Brechungszustandes bei älteren Hunden in Richtung Myopie brachten KISTLER (1927), MURPHY et al. (1992) und NEUMANN et al. (1998) mit dem Auftreten von altersbedingten Linsenveränderungen in Verbindung. KISTLER (1927) wies bei senilen Hunden Linsen mit doppeltem Brennpunkt und einem zentralen Linsenbezirk nach, der eine höhere Brechkraft besaß. MURPHY et al. (1992) und NEUMANN et al. (1998) konnten aufzeigen, daß sklerotische Veränderungen des Linsenkerne, wie sie bei älteren Hunden üblich sind, zu einer Brechkrafterhöhung führen. KISTLER (1927) und NEUMANN et al. (1998) stellten auch vermehrt Myopie bei Hunden mit Katarakt fest.

BODEN (1909) konnte dagegen keinen Zusammenhang zwischen Alter der Hunde und Grad der Myopie herstellen. Die genauen Werte sind der Tabelle 11 zu entnehmen.

**Tab. 11: Ergebnisse der Refraktionsbestimmungen bei normophaken Hunden unterschiedlichen Alters**

Methoden	Anzahl Hunde N	Anzahl Augen N	Alter [Mo], [J]	Zykloplegie/ Mydriasis	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Refraktionsbestimmer nach Schmidt - Rimpler	17	/	< 1 J	Atropin	li -3,4, re -3,3	/	Boden (1909)
	83	/	>1 J		-3,3	/	
Skiaskopie n. Roth	28	/	1/4 – 3/4 J	Atropin 1%	-1,08	/	Derksen (1920)
	22	/	1 – 1 3/4 J		-0,45	/	
	19	/	2 – 4 J		-0,36	/	
	15	/	4 1/2 – 7 J		-0,32	/	
	16	/	8 – 13 J		-0,84	/	
elektrischer Mortonspiegel	26	26	< 1 J	Kokain-Homatropin	+0,4152	-1,5 – +3	Kistler (1927)
	79	79	> 1J		-0,057	-3 – +5	
Skiaskopie	41	/	bis 4 J	Atropin 1%	-0,25	/	Weber (1961)
	15	/	über 8 J		-1,13	/	
Skiaskopie	10	/	3 Mo – 2 J	keine	1	0 – +2,5	Kleberger (1967)
Strichskiaskopie	3	/	1 – 2 J	Cyclopentolat 1%	/	0 – +1,5	Murphy et al. (1997)

/ = keine Angaben

li, re = linkes Auge, rechtes Auge

### 2.7.7 Brechungszustand in Abhängigkeit der Körpergröße

Bei GAIDDON et al. (1996) waren kleine und mittlere Hunde durchschnittlich kurzsichtig, während große Hunde im Mittel einen hyperopen Brechungszustand aufwiesen. Diese Brechkraftunterschiede führten die Autoren auf die unterschiedliche Lebensweise großer und kleinerer Hunde zurück. Kleine und mittlere Hunde waren überwiegend Haushunde, und diese waren ebenfalls durchschnittlich myop, während sich die großen Hunde häufiger im Freien aufhielten und deshalb auch durchschnittlich weitsichtig waren. Auch BODEN (1909) erklärte die geringere Kurzsichtigkeit großer Stubenhunde gegenüber kleinen Stubenhunden mit ihrer unterschiedlichen Haltungsform (siehe 2.7.9). Die genauen Werte sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

**Tab. 12: Ergebnisse der Refraktionsbestimmungen bei normophaken Hunden unterschiedlicher Körpergröße**

Methode	Anzahl Augen N	Anzahl Hunde N	Körpergröße [cm], [kg]	Zykloplegie/ Mydriasis	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Refraktions - bestimmter nach Schmidt - Rimpler	/	49	klein (<50 cm)	Atropin	-3,6	/	Boden (1909)
	/	30	groß (>50 cm)		li -3,1, re -3,2	/	
Strichskioskopie	32	/	klein (<10 kg)	Tropicamid	-0,58	-2,5 – +1	Gaiddon et al. (1996)
	61	/	mittel (10-20 kg)		-0,66	-4 – +1,5	
	43	/	groß (>20 kg)		0,13	-2 – +2,75	

/ = keine Angaben

li, re = linkes Auge, rechtes Auge

### 2.7.8 Brechungszustand in Abhängigkeit der Kopfform

In den Untersuchungen von GAIDDON et al. (1996) waren brachyzephe Hunde durchschnittlich hyperop, während die meso- und dolichocephalen Hunde eine mittlere myope Refraktion besaßen (siehe Tabelle 13). Diese Unterschiede erwiesen sich jedoch als nicht signifikant. Auch NEUMANN et al. (1998) konnten keine signifikanten Unterschiede in der Refraktion von Hunden unterschiedlicher Kopfformen nachweisen.

**Tab. 13: Ergebnisse der Refraktionsbestimmungen bei Hunden unterschiedlicher Kopfformen (GAIDDON et al. 1996)**

Methode	Anzahl Augen N	Kopfform	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]
Strichskioskopie	11	brachyzephal	0,23	-2,5 – +1,5
	72	mesozephal	-0,62	-4 – +3
	53	dolichocephal	-0,2	-2 – +2

/ = keine Angaben

### 2.7.9 Brechungszustand in Abhängigkeit der Gebrauchs- und Haltungsform

BODEN (1909) und DERKSEN (1920) teilten die von ihnen untersuchten Hunde in Stuben- und Gebrauchshunde ein. Zu den Gebrauchshunden zählten Jagd- Polizei- und Wachhunde, bei DERKSEN (1920) außerdem noch Zughunde. Stubenhunde waren Hunde, die sich überwiegend im Haus aufhalten. WEBER (1961) untersuchte ausschließlich Gebrauchshunde. BODEN (1909) und DERKSEN (1920) kamen zu dem Ergebnis, daß Stubenhunde durchschnittlich stärker myop sind als Gebrauchshunde. BODEN (1909) unterteilte die

Stubenhunde außerdem noch in kleine (< 50 cm Rückenhöhe) und große Hunde (>50 cm Rückenhöhe). Die kleinen Stubenhunde wiesen durchschnittlich den höchsten Grad der Myopie auf, während die Gebrauchshunde am geringsten myop waren. Die großen Stubenhunde besaßen einen mittleren Brechungszustand, der dazwischen lag (siehe Tabelle 14).

GAIDDON et al. (1996) unterschieden zwischen Hunden, die vorwiegend im Haus leben und solchen, die sich mehr im Freien, z.B. im Garten aufhalten. Die sogenannten Haushunde waren kurzsichtiger als die draußen lebenden Hunde, wobei die letzteren sogar durchschnittlich einen hyperopen Brechungszustand aufwiesen (siehe Tabelle 14). Sowohl BODEN (1909) als auch GAIDDON et al. (1996) vermuteten, daß die durchschnittlich stärkere Myopie bei Hunden, die sich im Haus aufhalten im Vergleich zu den überwiegend im Freien lebenden Hunden ein Anpassungsvorgang der Augen an ihre Umgebungsverhältnisse darstellt, in denen das Nahsehen wichtiger ist als das Fernsehen. Diese Theorie sieht BODEN (1909) in seinen Untersuchungsergebnissen bestätigt: Die kleinen Stubenhunde wiesen die stärkste Myopie auf, da sie am wenigsten Zeit im Freien verbrachten, während die großen Stubenhunde, die sich häufiger außerhalb des Hauses aufhielten, geringer myop waren. Die Gebrauchshunde, die hauptsächlich außerhalb des Hauses lebten, waren entsprechend am geringsten kurzsichtig. Aufgrund dessen, daß der Unterschied in der durchschnittlichen Brechkraft zwischen Hunden, die im Haus und draußen lebten, in der Studie von GAIDDON et al. (1996) nur bei den mittelgroßen Hunden signifikant war, vermuten die Autoren, daß der Einfluß der Umgebung auf den Brechungszustand des Hundes womöglich nur bei Hunden dieser Größe besteht.

MURPHY et al. (1992) verglichen den Refraktionszustand zwischen Deutschen Schäferhunden, die zu Blindenhunden ausgebildet waren, und Deutschen Schäferhunden, die keine besonderen Aufgaben ausführten, sondern als normale Haushunde gehalten wurden. In der Gruppe der Blindenhunde waren nur 19% der Hunde kurzsichtig und damit deutlich weniger als in der Gruppe der Haushunde, die zu 53% von Myopie betroffen waren. Der durchschnittliche Brechungszustand der Blindenhunde lag im hyperopen Bereich, während die mittlere Brechkraft der Haushunde myop war. Der Vergleich der Refraktion zwischen den ausschließlich myopen Haushunden und den myopen Blindenhunden ergab, daß Haushunde nicht nur häufiger Myopie aufwiesen, sondern auch höhere Grade der Kurzsichtigkeit ausbildeten als Blindenhunde. Als mögliche Erklärung für die geringere Verbreitung von Myopie unter Blindenhunden sehen die Autoren den Selektionsprozeß, der bei der Ausbildung der Hunde zum Ausscheiden derjenigen führt, die eine weniger optimale Leistung zeigen. Die Autoren weisen aber auch darauf hin, daß die visuelle Beeinträchtigung von myopen Hunden bisher nicht beurteilt wurde. Die genauen Werte sind der Tabelle 14 zu entnehmen.

**Tab. 14: Ergebnisse der Refraktionsuntersuchungen bei normophaken Hunden unterschiedlicher Gebrauchs- bzw. Haltungsform**

Methode	Gebrauchs - form / Lebensweise	Größe [cm], [kg]	Anzahl Hunde N	Anzahl Augen N	Zykloplegie/ Mydriasis	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Refraktions - bestimmer nach Schmidt-Rimpler	Haushund	klein (<50 cm)	49	/	Atropin	-3,6	/	Boden (1909)
	Haushund	groß (>50 cm)	30	/		li -3,1, re -3,2	/	
	Gebrauchs - hund	groß (>50 cm)	21	/		li -2,9, re -2,8	/	
Skiaskopie n. Roth	Haushund	/	/	/	Atropin	-0,86	/	Derksen (1920)
	Gebrauchs - hund	/	/	/		-0,5	/	
Skiaskopie	Gebrauchs - hund	/	180	360	Atropin	-0,702	/	Weber (1961)
Strich - skiaskopie	Haushund (DSH)	/	30	58	Cyclo - pentolat 1%	-0,86	-4,75 – +1	Murphy et al. (1992)
	Haushund (DSH myop)	/	16	/		-1,93	/	
	Blindenhund (DSH)	/	53	106		+0,22	-2,5 – +1,5	
	Blindenhund (DSH myop)	/	10	/		-0,9	/	
Strich - skiaskopie	im Haus lebend	/	/	94	Tropicamid	-0,64	-4 – +3	Gaiddon et al. (1996)
	im Freien lebend	/	/	42		+0,17	-2,5 – +1,5	

/ = keine Angaben

li, re = linkes Auge, rechtes Auge

### 2.7.10 Brechungszustand mit und ohne Zykloplegie

BODEN (1909), DERKSEN (1920), KLEBERGER (1967), NOWAK und NEUMANN (1987) und MURPHY et al. (1992) führten Untersuchungen an Hunden mit unterdrückter und unbeeinflusster Akkommodation durch und konnten keine wesentlichen Unterschiede in den Ergebnissen der Refraktionsbestimmung feststellen. WEBER (1961) dagegen ermittelte Brechkraftunterschiede von -0,5 bis +2 dpt zwischen Augen mit und ohne Zykloplegie. Bei ihm wiesen nur 12,9% der untersuchten Augen mit und ohne Atropin die gleiche Refraktion auf. Der durchschnittliche Brechkraftunterschied beider Gruppen war dennoch nur geringfügig (siehe Tabelle 6).

### 2.7.11 Der kalkulierte Brechungszustand des Hundes

MATTHIESSEN (1887), MEYER (1897), COILE und O'KEEFE (1988) und MUTTI et al. (1999) erstellten schematische Hundeaugen. Die dafür notwendigen Kardinalpunkte berechneten sie anhand der okularen Dimensionen des Hundeauges, die sie selbst bestimmten

(MATTHIESSEN 1887, MEYER 1897, MUTTI et al. 1999) oder aus der Literatur bezogen (COILE und O'KEEFE 1988).

MATTHIESSEN (1887), MEYER (1897) und COILE und O'KEEFE (1988) berechneten einen myopen Brechungszustand für den Hund, während das von MUTTI et al. (1999) erstellte schematische Hundeauge für den Labrador Retriever, bei dessen Konstruktion sie die durchschnittliche Glaskörperlänge von nicht myopen Hunden verwendeten, hyperop ist (siehe Tabelle 15). MATTHIESSEN (1887) und MEYER (1897) erstellten zum Teil für einzelne Hunde schematische Augen, während COILE und O'KEEFE (1988) und MUTTI et al. (1999) Durchschnittswerte okularer Parameter von Hundeaugen verwendeten. Die von MATTHIESSEN (1887) und MEYER (1897) errechnete Myopie des Hundeauges ist zum Teil deutlich höher als die des schematischen Hundeauges von COILE und O'KEEFE (1988), das eine Ametropie von -0,4 dpt aufweist.

**Tab. 15 Ergebnisse der physikalischen Berechnung des Brechungszustandes des Auges**

Rasse	Anzahl Hunde N	Anzahl Augen N	Alter [J]	Ametropie [dpt]	Literatur
/	1	2	/	-3,08	Matthiessen (1887)
Dogge	2	2	2 und 4	-0,78	Meyer (1897)
Dogge	1	1	1/2	-3,55	
Spitz	1	1	3/4	-2,07	
/	/	/	/	-0,4	Coile und O'Keefe (1988)
Labrador Retriever	/	/	/	1,06	Mutti et al. (1999)

/ = keine Angaben

## 2.8 Brechungszustand der normophaken Katze

### 2.8.1 Vorkommen von Emmetropie

DUBAR und THIEULIN (1927) stellten fest, daß Katzen im allgemeinen emmetrop sind. Ametropie in Richtung Myopie trat häufiger auf als Hyperopie. ROSE et al. (1974) und BELKIN et al. (1977) bestimmten nur bei einer kleinen Anzahl von Straßenkatzen sowie Katzen, die in Käfigen und engen Räumen aufgezogen wurden, einen emmetropen Brechungszustand (siehe Tabelle 16). HESS und HEINE (1898) und KAHMANN (1930) ermittelten bei einer von fünf untersuchten Katzen einen emmetropen Brechungszustand.

### **2.8.2 Vorkommen von Myopie**

Ein durchschnittlich myoper Brechungszustand wurde, abgesehen von Katzen, deren normales Sehen durch z. B. Lidverschluss oder abnorme Lichteinflüsse massiv beeinflusst wurde (CREMIEUX et al. 1989, NI und SMITH 1989), ausschließlich bei Katzen festgestellt, die unter Bedingungen gehalten wurden, die lediglich das Sehen in der Nähe ermöglichten (ROSE et al. 1974, BELKIN et al. 1977, CREMIEUX et al. 1989) (siehe Tabelle 17). Bei diesen Katzen trat Myopie zu einer hohen Prozentzahl auf, während nur wenige Katzen mit unbeeinflusstem Sehen kurzsichtig waren (ROSE et al. 1974, BELKIN et al. 1977) (siehe Tabelle 16). YINON et al. (1984) wiesen in einer Gruppe von Katzen, die sich aus Straßenkatten, Käfigkatten und Katzen, die in kleinen Räumen aufgewachsen sind, zusammensetzt, häufiger Myopie nach als ROSE et al. (1974) und BELKIN et al. (1977) bei reinen Straßenkatten (siehe Tabelle 16).

Die mittlere Myopie bei Käfigkatten und Katzen, die in kleinen Räumen großgezogen wurden, liegt unter -1 dpt (ROSE et al. 1974, BELKIN et al. 1977, CREMIEUX et al. 1989). Eine maximale Myopie von -3,35 dpt wurde bei vorwiegend in Käfigen lebenden Katzen von CREMIEUX et al. (1989) bestimmt. Andere Untersucher haben etwas geringere myope Höchstwerte bei Katzen mit eingeschränktem Sehen festgestellt (ROSE et al. 1974, BELKIN et al. 1977, YINON et al. 1984). Myope Straßenkatten bzw. Katzen mit uneingeschränktem Blickfeld erreichen nur geringere maximale myope Brechkraftwerte (ROSE et al. 1974, BELKIN et al. 1977, YINON et al. 1984). Die genauen Daten sind der Tabelle 17 zu entnehmen.

### **2.8.3 Vorkommen von Hyperopie**

Katzen, deren Sehen in die Ferne keinen Einschränkungen unterworfen war, wiesen in den Untersuchungen von ROSE et al. (1974) und BELKIN et al. (1977) durchschnittlich einen hyperopen Brechungszustand auf (siehe Tabelle 17). Sie waren fast ausschließlich weitsichtig, während Käfigkatten und Katzen, die in kleinen Räumen aufgewachsen waren, nur zu etwa einem Fünftel eine hyperope Refraktion aufwiesen (ROSE et al. 1974, BELKIN et al. 1977) (siehe Tabelle 16). YINON und KOSLOWE (1984) und YINON et al. (1984) bestimmten sowohl bei Katzen, die im Freien aufgewachsen sind als auch bei Katzen, die in Räumen gehalten wurden, einen durchschnittlich hyperopen Brechungszustand (+0,88 dpt bzw. +0,14 dpt), wobei jedoch die erste Gruppe im Mittel weitsichtiger war (siehe Tabelle 17). HESS und HEINE (1898), die keine Angaben über die Haltungsbedingungen der von ihnen untersuchten Katzen machten, fanden ebenfalls häufiger Hyperopie als Myopie vor. Von fünf untersuchten Katzen war eine leicht kurzsichtig. KAHMANN (1930) ermittelte ausschließlich Emmetropie und Hyperopie bei Katzen. NI und SMITH (1989) und GILGER et al. (1998a) bestimmten bei normalen Versuchskatten -ebenfalls ohne weitere Angaben über die Art ihrer Haltung - eine durchschnittlich hyperope Refraktion (siehe Tabelle 17).

Die höchste durchschnittliche Hyperopie (+1,145 dpt) trafen ROSE et al. (1974) und BELKIN et al. (1977) bei Straßenkatten an. Andere Untersucher ermittelten hier durchschnittliche Brechkraftwerte von unter +1 dpt (YINON et al. 1984, YINON und KOSLOWE 1984) (siehe Tabelle 17). Die höchste maximale Hyperopie von +4 dpt wurde von NI und SMITH (1989) bei normalen Katzen und von YINON et al. (1984) bei Katzen, die in Käfigen oder engen Räumen gehalten wurden, festgestellt (siehe Tabelle 17). Freilebende Katzen wiesen in den Untersuchungen von YINON et al. (1984) dagegen eine etwas geringere maximale Weit-

sichtigkeit von +3,5 dpt auf. Bei ROSE et al. (1974) und BELKIN et al. (1977) zeigten dagegen Straßenkatzen (+3,5 dpt) höhere hyperope Maximalwerte als Katzen mit eingeschränktem Blickfeld (+2,5 dpt) (siehe Tabelle 17).

**Tab. 16: Häufigkeit von Emmetropie, Myopie und Hyperopie bei der normophaken Katze**

Anzahl untersuchter Katzen N	Anzahl untersuchter Augen N	Haltungsform	Vorkommen von Emmetropie [%]	Vorkommen von Myopie [%]	Vorkommen von Hyperopie [%]	Literatur
18	/	Käfigkatzen und Katzen aus engen Räumen	6	75,8	18,2	Belkin et al. (1977)
11	/	Käfigkatzen	9,1	68,2	22,7	Rose et al. (1974)
12	/	Straßenkatzen	8,3	4,2	87,5	Rose et al. (1974), Belkin et al. (1977)
/	108	Käfigkatzen, Katzen aus engen Räumen und Straßenkatzen	/	15,6	/	Yinon et al. (1984)

/ = keine Angaben

**Tab. 17: Ergebnisse der Refraktionsuntersuchungen bei der normophaken Katze**

Methode	Anzahl Katzen N	Anzahl Augen N	Alter [Mo]	Haltung	Zykloplegie/ Mydriasis	Mittelwert [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Skiaskopie	5	/	/	/	/	/	-1 – +2,5	Hess und Heine (1898)
Skiaskopie	30	/	/	/	kein	0	-1,5 – +0,5	Dubar und Thieulin (1927)
/	5	/	/	/	/	/	0 – +3	Kahmann (1930)
Strich - skiaskopie	11	22	13 bis 14	Käfigkatzen	Atropin 2 %	-0,62	-2,5 – +2,5	Rose et al. (1974)
Strich - skiaskopie	12	24	adult	Straßenkatzen	Atropin 2 %	+1,145	-1 – +3,5	Rose et al. (1974), Belkin et al. (1977)
Strich - skiaskopie	18	33	13 bis 14 und adult	Käfigkatzen und Katzen, die in Räumen aufgewachsen sind	Atropin 2 %	-0,81	-2,5 – +2,5	Belkin et al. (1977)
Fleck - skiaskopie	/	108	jung und adult	/	Atropin 1 %	+0,69	-2,5 – +4	Yinon et al. (1984)
	/	20	adult	/	Atropin 1 %	+0,82	/	
	/	79	jung und adult	Katzen, die im Freien aufgewachsen sind	Atropin 1 %	+0,88	-1,5 – +3,5	
	/	28	jung und adult	Käfigkatzen und Katzen, die in Räumen aufgewachsen sind	Atropin 1 %	+0,14	-2,5 – +4	
Fleck - skiaskopie	11	22	10	/	Atropin 1 %	90 Grad: 0,65 180 Grad: 0,75	/	Yinon und Koslowe (1984)
Hartinger Refraktometer	88	174	adult	vorwiegend Käfigkatzen	Atropin	-0,7	-3,35 – +2,35	Cremieux et al. (1989)
Strich - skiaskopie	11	/	14	/	Cyclopentolat 1 %	am häufigsten +1	-1 – +4	Ni und Smith (1989)
Strich - skiaskopie	8	16	/	/	Tropicamid 1 %	+0,12	/	Gilger et al. (1998a)

/ = keine Angaben

## **2.8.4 Der kalkulierte Brechungszustand der Katze**

VAKKUR und BISHOP (1963) bestimmten sämtliche Werte der Komponenten des dioptrischen Apparates des Katzenauges und verwendeten diese zur Konstruktion eines schematischen Auges für die Katze. Die Mehrzahl der dafür notwendigen Messungen nahmen sie an enukleierten Augen mit Hilfe eines Mikroskopes und eines Mikrometers und mit Hilfe photographischer Techniken vor. Schematische Werte wurden für die Hornhautdicke, den Krümmungsradius der vorderen und hinteren Hornhautoberfläche, mit Hilfe dessen die Brechkraft der Hornhaut berechnet wurde, für den Abstand zwischen hinterer Hornhautfläche und vorderer Linsenfläche, für die Linsendicke und für die Krümmungsradien der vorderen und hinteren Linsenfläche bestimmt. Außerdem ermittelten sie die Form und die vorderen und hinteren Scheitelpunkte und damit die Brechkraft von entfernten Linsen. Als Brechungsindizes der optischen Medien wurden die Werte vom Menschen übernommen. Das schematische Auge der Katze besitzt eine Gesamtbrechkraft von 77,983 dpt und einen Brechungszustand von +1,5 dpt (VAKKUR und BISHOP 1963). COILE und O'KEEFE (1988) konstruierten ebenfalls für die Katze, aber auch für eine Reihe anderer Haustiere, schematische Augen. Die dafür notwendigen optischen Parameter bezogen sie aus der Literatur. Der von ihnen kalkulierte Brechungszustand des Katzenauges ist der Emmetropie näher als der des schematischen Katzenauges von VAKKUR und BISHOP (1963). COILE und O'KEEFE (1988) verwendeten bei ihren Berechnungen Brechungsindizes der optischen Medien, die für die Katze und den Hund ermittelt wurden. Aus ihren Ergebnissen geht hervor, daß die Verwendung unterschiedlicher Brechungsindizes von Linse und Glaskörper den größten Einfluß auf die kalkulierte Refraktion hat, womit sich auch der Unterschied im ermittelten Brechungszustand zum schematischen Auge von VAKKUR und BISHOP (1963) erklären läßt (COILE und O'KEEFE 1988). Bei sämtlichen von COILE und O'KEEFE (1988) konstruierten schematischen Augen verschiedener Tierarten befindet sich die Refraktion innerhalb der  $\pm 1,5$  dpt Grenze. Das Katzenauge ist mit einem Brechungszustand von +0,01 dpt nahezu emmetrop.

## **2.9. Brechungszustand des pseudophaken Hundes**

### **2.9.1 Intraokularlinsen beim Hund und Menschen**

Intraokularlinsen werden beim Hund seit den achtziger Jahren nach extrakapsulärer Linsenextraktion, vor allem aber nach Phakofragmentation und Aspiration, zunehmend eingesetzt (DRAEGER et al. 1983, DAVIDSON et al. 1991, NASISSE et al. 1991, PEIFFER und GAIDDON 1991, DAVIDSON et al. 1993, GAIDDON et al. 1996). Es werden in der Regel Intraokularlinsen mit einer Standardbrechkraft implantiert. In der Humanmedizin wird beim Kataraktpatienten eine präoperative individuelle Brechkraftbestimmung der zu implantierenden Linse vorgenommen. Hierzu sind aufwendige keratometrische und sonographische Messungen des Auges notwendig (STROBEL 1985). Die ermittelten Werte der Hornhautkrümmung und Bulbuslänge sowie Schätzwerte über die postoperative Vorderkammertiefe werden dann in Berechnungsformeln für Intraokularlinsen eingesetzt (BINKHORST 1975, STROBEL 1985). Der Einsatz von Standardintraokularlinsen, wie er in den Anfängen der Kataraktchirurgie bei Menschen ebenfalls üblich war, wird mittlerweile wegen unzureichender Ergebnisse, die vor allem auf der großen Spannweite der Brechkraft der menschlichen Linse

beruhen, abgelehnt (BINKHORST 1975, STROBEL 1985). In der Veterinärmedizin sind eine individuelle präoperative Biometrie und Keratometrie aus ökonomischen Gründen bisher nicht praktikabel. Deswegen wird die Implantation einer Einheitslinse empfohlen, die bei der Mehrzahl der Hunde nach der Kataraktoperation einen annähernd emmetropen Brechungszustand bzw. ihren durchschnittlich ametropen Brechungszustand herzustellen vermag (DRAEGER et al. 1983, DAVIDSON et al. 1991, PEIFFER und GAIDDON 1991, DAVIDSON et al. 1993, GAIDDON et al. 1996). Für den Einsatz einer Intraokularlinse mit einer Standardbrechkraft sei von Vorteil, daß Katarakte mehrheitlich bei Hunden bestimmter Rassen von gleicher Größe auftreten würden, da diese in ihren durchschnittlichen okularen biometrischen Werten übereinstimmen und damit auch eine Intraokularlinse gleicher Brechkraft zur Herstellung postoperativer Emmetropie benötigen (GAIDDON et al. 1991).

Verglichen mit dem Augapfel des Menschen ist bei Hunden die axiale Bulbuslänge kürzer, die vordere Augenkammer tiefer und die Hornhaut flacher. Aufgrund dieser Unterschiede, die mit einer kürzeren bildseitigen Brennweite und geringeren Brechkraft der Hornhaut des Hundeauges verbunden sind, benötigt der Hund eine stärkere Intraokularlinse als der Mensch, bei dem eine Kunstlinse von ungefähr +18 dpt zur Emmetropie führt (GAIDDON et al. 1991). Nach GAIDDON et al. (1989) reicht für eine endokapsuläre Intraokularlinse eine durchschnittliche Stärke von +29 dpt aus, um beim Hund nach einer Kataraktoperation einen emmetropen Brechungszustand zu erzeugen. Große Hunde benötigen eine Intraokularlinse geringerer Stärke (+28,12 dpt) als kleine (+30,32 dpt) und mittelgroße Hunde (+29,74 dpt), da sie im Vergleich zu diesen eine signifikant flachere Hornhaut und größere axiale Bulbuslänge aufweisen (GAIDDON et al. 1989). DAVIDSON et al. (1993) konnten dagegen nur einen geringgradigen Einfluß der Körpergröße von unter einer Dioptrie auf die benötigte Brechkraft einer Intraokularlinse feststellen. DRAEGER et al. (1983) und NEUMANN et al. (1998) berechneten für eine emmetropisierende Intraokularlinse beim Hund ebenfalls nur eine Brechkraft von ungefähr +32 dpt bzw. +35,15 dpt. Unter Berücksichtigung der mittleren postoperativen Vorderkammertiefe berechneten GAIDDON et al. (1991) für eine Intraokularlinse beim Hund dagegen eine höhere Brechkraft von durchschnittlich +40,0 dpt. DAVIDSON et al. (1993) ermittelten durch lineare Regressionsanalyse ebenfalls eine höhere Brechkraft von durchschnittlich +41,5 dpt für eine emmetropisierende Kunstlinse beim Hund. Für sieben Hunderassen, die besonders häufig einer Kataraktoperation unterzogen werden, berechneten sie auf diesem Wege eine benötigte Brechkraft von +39,62 bis +43,14 dpt (siehe Tabelle 18).

**Tab. 18: Ergebnisse der Berechnung der Brechkraft einer Standardintraokularlinse beim Hund**

Methode	Anzahl Hunde N	Anzahl Augen N	Alter [Mo], [J]	Größe der Hunde	Mittlere berechnete Brechkraft der zu implantierenden Linse [dpt]	Spannweite der berechneten Brechkraft der zu implantierenden Linse [dpt]	Literatur
Berechnung	/	/	/	/	+32	/	Draeger et al. (1983)
Berechnung	50	/	1 J – 16 J	alle Größen	+29,47	/	Gaiddon et al. (1989)
	19	/	1 J – 16 J	klein	+30,32	/	
	16	/	1 J – 16 J	mittelgroß	+29,74	/	
	15	/	1 J – 16 J	groß	+28,12	/	
Berechnung	62	124	9 Mo – 16 J	alle Größen	+40	/	Gaiddon et al. (1991)
Lineare Regressions- analyse	/	/	/	/	+41,5	+39,62 – +43,14	Davidson et al. (1993)
Berechnung	/	/	/	/	+35,15	/	Neumann et al. (1998)

/ = keine Angaben

### 2.9.2 Bestimmungen des Brechungszustandes pseudophaker Hunde

Hunde, denen Intraokularlinsen in Stärken von +14,5 dpt bis +38 dpt eingesetzt wurden, wiesen durchschnittlich eine Unterkorrektur der durch die Entfernung der Linse entstandenen Hyperopie auf (DAVIDSON et al. 1991, DAVIDSON et al 1993, GAIDDON et al. 1996). Bei den von DAVIDSON et al. (1991) und DAVIDSON et al (1993) untersuchten Hunden wies kein Hund Myopie auf. Die resultierende Ametropie war umso geringer, je mehr Brechkraft die implantierte Linse besaß (DAVIDSON et al. 1993). Bei Hunden, denen eine Intraokularlinse mit einer Stärke von +41,0 dpt implantiert wurde, war der entstandene Brechungsfehler am besten korrigiert. Sie waren durchschnittlich leicht kurzsichtig (GAIDDON et al. 1996). Da sich normophake kleine und mittelgroße Hunde und Hunde, die sich überwiegend im Haus aufhalten, durchschnittlich ebenfalls als leicht kurzsichtig erwiesen haben, ist der Einsatz einer Standardintraokularlinse dieser Stärke besonders gut geeignet, da gerade diese Hunde häufiger einer Kataraktoperation unterzogen werden (GAIDDON et al. 1996). Bei der Mehrzahl der Hunde, die an einer Katarakt operiert werden, kann demnach mit einer Einheitslinse dieser Brechkraft die ursprüngliche durchschnittliche Ametropie wiederhergestellt werden (GAIDDON et al. 1996). DAVIDSON et al. (1993) empfehlen den Einsatz

einer Standardintraokularlinse mit einer etwas höheren Brechkraft (+41,5 dpt). Aufgrund dessen, daß die in ihrer Untersuchungspopulation ermittelten Standardabweichungen und Spannweiten der verbliebenen Brechungsfehler, unabhängig von der jeweils implantierten Linsenstärke, gering sind, vermuten sie, daß eine kleine Variation von Intraokularlinsen unterschiedlicher Stärken ausreicht, um bei der Mehrzahl der Hunde einen nahezu emmetropen postoperativen Brechungszustand zu erreichen. Es konnte kein wesentlicher Einfluß der Rasse und Körpergröße auf den postoperativen Brechungszustand nachgewiesen werden. Inwieweit sich der Brechungszustand des pseudophaken Auges in Abhängigkeit vom postoperativen Zeitabstand verändert, konnten die Autoren nicht mit Sicherheit festlegen (DAVIDSON et al. 1993). PEIFFER und GAIDDON (1991) empfehlen dagegen den Einsatz von Intraokularlinsen geringerer Stärke (+23 dpt bis +31 dpt) beim Hund. Sie ermittelten als postoperativen Brechungszustand bei Augen, denen Intraokularlinsen mit einer Brechkraft von nur +25 dpt und +29 dpt eingesetzt wurden, sowohl Hyperopie als auch Myopie unterschiedlicher Stärke (siehe Tabelle 19). In ihrer Untersuchungspopulation würden ungefähr 90% der Hunde mit einer Intraokularlinse von +30 dpt Emmetropie  $\pm$  5 dpt aufweisen.

**Tab.19: Ergebnisse der Refraktionsuntersuchungen bei pseudophaken Hunden**

Methode	Anzahl Augen N	Alter [J]	Brechkraft der implantierten Linse [dpt]	Mittlere Brechkraft [dpt]	Spannweite der Brechkraft [dpt]	Literatur
Strichskioskopie	67	/	+30	+4,45	+3 – +7,5	Davidson et al. (1991)
Strichskioskopie	19	/	+25	/	-6 – +2	Peiffer und Gaiddon (1991)
	24	/	+29	/	-2 – +6	
Strichskioskopie	13	/	+14,5	+11,54	+9,5 – +13,5	Davidson et al. (1993)
	105	/	+30	+5,15	+2,0 – +8,5	
	1	/	+34	+3,5	/	
	61	/	+36	+2,34	+1,5 – +4,5	
	28	/	+38	+1,41	+0,5 – +2,5	
Strichskioskopie	6	2,5 – 11	+29	+7,5	+5 – +8,5	Gaiddon et al. (1996)
	6	2,5 – 11	+36	+2,08	-1 – + 6	
	6	2,5 – 11	+41	-0,66	-2 – +0,5	

/ = keine Angaben

## **2.10 Brechungszustand der pseudophaken Katze**

### **2.10.1 Intraokularlinsen bei der Katze**

Bei Katzen werden zunehmend Linsenextraktionen vorgenommen, so daß die Entwicklung einer geeigneten Intraokularlinse für Katzen an Bedeutung gewinnt (GILGER et al. 1998a). Aufgrund der zunehmenden Inzucht bei Katzen und der Entstehung „neuer“ Rassen ist außerdem anzunehmen, daß die Zahl der Katzen mit Linsenveränderungen ansteigen wird (GILGER et al. 1998a).

Der Einsatz einer Intraokularlinse mit einer Standardbrechkraft bietet sich bei Katzen aus praktischen und ökonomischen Gründen an. Eine Standardintraokularlinse ist zudem bei Katzen im Vergleich zu Hunden insofern besonders geeignet, als daß hier geringere Unterschiede in der Körpergröße bestehen, die möglicherweise den Brechungszustand eines Tieres beeinflussen (GILGER et al. 1998b).

GILGER et al. (1998b) berechneten eine durchschnittliche Brechkraft von 53 bis 55 dpt für eine emmetropisierende Intraokularlinse bei der Katze. Katzen benötigen eine Intraokularlinse höherer Brechkraft als Hunde, da sie eine tiefere vordere Augenkammer besitzen und bei ihnen der Abstand zwischen Hornhaut und hinterer Linsenkapsel größer ist und sich somit eine Intraokularlinse bei der Katze näher an der Netzhaut befindet. Außerdem ist die Brechkraft der Hornhaut der Katze ungefähr eine Dioptrie schwächer und die axiale Bulbuslänge geringgradig kürzer als beim Hund (GILGER et al. 1998a, GILGER et al. 1998b). Da nur die okularen Dimensionen domestizierter Kurzhaarkatzen als Berechnungsgrundlage verwendet wurden, kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob brachycephale Katzen eine Intraokularlinse anderer Brechkraft benötigen (GILGER et al. 1998b).

### **2.10.2 Bestimmungen des Brechungszustandes pseudophaker Katzen**

GILGER et al. (1998a) bestimmten bei Katzen, denen Intraokularlinsen in den Stärken von +48 und +51 dpt eingesetzt wurden, einen hyperopen Brechungszustand, während Katzen mit einer +60 dpt Intraokularlinse myop waren. Die lineare Regressionsanalyse des nach zwölf Wochen nach der Operation vorliegenden Refraktionszustandes und der Brechkraft der eingesetzten Linsen ergab, daß eine Intraokularlinse mit einer Brechkraft von +52,8 dpt durchschnittlich am geeignetsten ist, um einen emmetropen Brechungszustand bei der Katze herzustellen. Bei allen Augen nahm mit der Länge des Zeitintervalls, das zwischen Operation und skioskopischer Untersuchung lag, die anfängliche Fehlsichtigkeit ab (siehe Tabelle 20). Mögliche Ursachen der Verschiebung des Refraktionszustandes sind die registrierte Abnahme der postoperativen Vorderkammertiefe in den ersten Wochen nach der Implantation, durch die das pseudophake Auge weniger hyperop wird, oder postoperative Veränderungen der axialen Bulbuslänge oder der Hornhautkrümmung.

Eine weitere mögliche Erklärung für die Tendenz aller linsenimplantierten Augen, einen emmetropen Brechungszustand zu entwickeln, ist das Phänomen der aktiven Emmetropisierung, das besagt, daß Augen über Veränderungen ihres axialen Wachstums vorhandene Brechungsfehler auszugleichen vermögen. Die Autoren weisen darauf hin, daß aktive Emmetropisierung bisher nur bei neugeborenen oder jungen Tieren beobachtet wurde. In ihrer Untersuchung handelte es sich jedoch um adulte Katzen.

**Tab. 20: Ergebnisse der Refraktionsuntersuchungen im postoperativen zeitlichen Verlauf bei pseudophaken Katzen (GILGER et al. 1998a)**

Methode	Anzahl Augen N	Zeitintervall zwischen Katarakt- operation und Breckkraft- bestimmung [Wo]	Breckkraft der implantierten Linse [dpt]	Mittlere resultierende Breckkraft [dpt]
Strichskioskopie	5	1 Wo	+48	+4,25
		2 Wo	+48	+2,4
		4 Wo	+48	+1,7
		12 Wo	+48	+2,1
	6	12 Wo	+51	+0,4
	5	12 Wo	+60	-2,6

### 2.11 Brechungszustand des aphaken Hundes

Der durchschnittliche Brechungszustand aphaker Hunde beträgt +14 bis +16 dpt (POLLET 1982, DAVIDSON et al. 1993, GAIDDON et al. 1996, NEUMANN et al. 1998). POLLET (1982) stellte drei Monate postoperativ bei sechs von 16 Hunden, die beidseitig aphak waren, eine Anisometropie fest. Bei vier Hunden betrug der Brechkraftunterschied zwischen beiden Augen +2 dpt und bei zwei Hunden +3 dpt.

### 2.12 Brechungszustand anderer Tierarten

#### 2.12.1 Brechungszustand des Pferdes

Die Untersuchungen über den Brechungszustand des Pferdes sind zu unterschiedlichen Ergebnissen gekommen. Emmetropie trat bei Pferden zu 14,88% bis 70%, Myopie zu 29,6% bis 82,33% und Hyperopie zu 1,1% bis 21,3% auf (CZERWONSKY 1908, SUSTMANN 1911, BERRAR 1918, WOUTERS und DE MOOR 1978). Die Spannweite der ermittelten Werte betrug -6 bis +3 dpt. Pferderassen mit hohen und schmalen Augenhöhlen (kaltblütige Pferde) waren häufiger kurzsichtig als solche mit etwa gleich hohen wie breiten Orbitae (warmblütige Pferde) (CZERWONSKY 1908). Das von COILE und O'KEEFE (1988) kalkulierte schematische Pferdeauge weist einen leicht hyperopen Brechungszustand von +0,61 dpt auf. Die von MATTHIESSEN (1887) anhand der Kardinalpunkte berechnete Refraktion des Pferdeauges liegt mit +0,45 dpt ebenfalls im hyperopen Bereich.

#### 2.12.2 Brechungszustand des Wiederkäuers

Der Brechungszustand von Rindern ist nach LINDENAU (1909) von ihrer Haltung abhängig. Weiderinder waren zu 53,67% und damit deutlich seltener kurzsichtig als Stallrinder, die zu 90,3% von Myopie betroffen waren. Hyperopie trat unter den untersuchten Stallrindern gar

nicht auf und war bei 3,64% der Weiderinder vertreten. Die Myopie betrug in der Regel nicht mehr als -3 dpt (LINDENAU 1909).

Das schematische Auges des Rindes von COILE und O'KEEFE (1988) ist mit einer Refraktion von -0,33 dpt leicht kurzsichtig. MATTHIESSEN (1887) berechnete für das Rinderauge eine höhere Myopie von -1,71 dpt.

Bei Schafen trat dagegen fast ausschließlich Hyperopie von maximal +2,7 dpt auf (PIGGINS und PHILLIPS 1996). Der von COILE und O'KEEFE (1988) berechnete Brechungszustand des Schafsauges liegt mit +1,45 dpt ebenfalls im hyperopen Bereich. Auch MATTHIESSEN (1887) berechnete eine hyperope Refraktion des Schafsauges. Diese weist jedoch einen stärkeren Fehler von +4,521 dpt auf. MEYER (1897) ermittelte dagegen anhand der Kardinalpunkte des Schafsauges eine myope Refraktion von -2,55 dpt.

### **2.12.3 Brechungszustand kleiner Säugetiere**

Bei kleinen Säugetieren (Mäuse, Ratten, Siebenschläfer und Igel) wurde ein stark hyperoper Brechungszustand (+6 bis +18,95 dpt) bestimmt (KAHMANN 1930, MUTTI et al. 1992). MUTTI et al. (1992) ermittelten bei Ratten, abhängig von ihrer Abstammung, unterschiedliche Refraktionszustände, die sich von nahezu emmetrop bis stark hyperop (+18,95 dpt) erstreckten. Auch innerhalb eines Stammes variierte die Refraktion. Nach Hughes (1977) ist der tatsächliche Refraktionszustand der Ratte emmetrop. Bei der Skiaskopie entstehen aufgrund der Kleinheit des Rattenauges vermutlich fehlerhafte Reflexe, die das Auge stark hyperop erscheinen lassen (HUGHES 1977).

## **2.13 Astigmatismus bei normophaken Hunden**

### **2.13.1 Häufigkeit und Höhe des Astigmatismus bei normophaken Hunden**

Astigmatismus wurde mit einer Häufigkeit von 4,17 bis 66,69% bei Hunden festgestellt (DUBAR und THIEULIN 1927, POLLET 1982, NOWAK und NEUMANN 1987, GAIDDON et al. 1991, MURPHY et al. 1992, NEUMANN et al. 1998) (siehe Tabelle 21). Während bei MURPHY et al. (1992) einseitiger Astigmatismus bei 3,3% aller untersuchten Hunde (N = 240) und damit deutlich häufiger vorkam als beidseitiger (0,83%), trat in der Studie von GAIDDON et al. (1991) der Astigmatismus nahezu symmetrisch auf.

Bei GAIDDON et al. (1991) betrug die durchschnittliche Brechkraftdifferenz je nach Art des Astigmatismus 1 bis 1,6 dpt, während NELMS et al. (1994) und NEUMANN et al. (1998) einen durchschnittlichen Astigmatismus von unter 1 dpt bestimmten und MUTTI et al. (1999) nur eine minimale Brechkraftdifferenz ermittelten (siehe Tabelle 22). GAIDDON et al. (1991) und MURPHY et al. (1992) bestimmten mit 3 bzw. 5 dpt einen deutlich höheren maximalen Astigmatismus als NOWAK und NEUMANN (1987), die bei keinem Hund Astigmatismus von über 1 dpt nachweisen konnten. POLLET (1982) ließ die obere Grenze des in seiner Untersuchungspopulation auftretenden Astigmatismus offen. Er gab die Häufigkeit von astigmatischen Augen an, die eine Brechkraftdifferenz ihrer Meridiane von > 1 dpt aufwiesen (siehe Tabelle 22). Ob bei den von ihm untersuchten Hunden auch ein geringerer Astigmatismus auftrat, ist seinen Angaben nicht zu entnehmen.

**Tab. 21: Ergebnisse über die Häufigkeit von Astigmatismus beim normophaken Hund**

Methode	Anzahl untersuchter Hunde N	Anzahl untersuchter Augen N	Alter [Mo], [J]	Prozentzahl Augen mit Astigmatismus [%]	Prozentzahl Hunde mit Astigmatismus [%]	Literatur
Skioskopie	106	/	/	/	17	Dubar und Thieulin (1927)
Skioskopie	85	170	9 Mo – 12 J	14	/	Pollet (1982)
Strichskioskopie	25	50	4 Mo – 8 J	46	/	Nowak und Neumann (1987)
Keratometrie	56	112	1 J – 16 J	66,96	/	Gaiddon et al. (1991)
Strichskioskopie	240	/	/	/	4,17	Murphy et al. (1992)
Strichskioskopie	540	/	/	/	50	Neumann et al. (1998)

/ = keine Angaben

**Tab. 22: Ergebnisse über die Höhe des Astigmatismus bei normophaken Hunden**

Methode	Mittlerer Unterschied zwischen den Hauptmeridianen [dpt]	Mittlerer Unterschied der Brechkraft bei Astigmatismus gegen die Regel [dpt]	Mittlerer Unterschied der Brechkraft bei Astigmatismus nach der Regel [dpt]	Spannweite des Astigmatismus [dpt]	Literatur
Skioskopie	> 1,0	/	/	/	Pollet (1982)
Strichskioskopie	/	/	/	bis max. 1	Nowak und Neumann (1987)
Keratometrie	/	1,6	1,0	0,5 – 5	Gaiddon et al. (1991)
Strichskioskopie	/	/	/	0,5 – 3	Murphy et al. (1992)
Keratometrie	0,82 bzw. 0,75	/	/	/	Nelms et al. (1994)
Strichskioskopie	0,88	/	/	/	Neumann et al. (1998)
Keratophakometrie	re 0,11, li 0,08	/	/	/	Mutti et al. (1999)

/ = keine Angaben

li, re = linkes Auge, rechtes Auge

### 2.13.2: Auftreten von Astigmatismus nach der Regel und gegen die Regel bei normophaken Hunden

KOSCHEL (1893), MEYER (1897), KISTLER (1927) und GÖRIG et al. (1997) bestimmten bei Hunden einen höheren mittleren Krümmungsradius bzw. eine geringere mittlere Brechkraft für den horizontalen Meridian, womit nach ihren Untersuchungen ein Astigmatismus nach der Regel bei Hunden vorliegt. Die Werte der Krümmungsradien und der Brechkraft der Hornhaut beim Hund können den Tabellen 3 und 4 entnommen werden. GAIDDON et al. (1991) ermittelten dagegen bei der Mehrzahl der astigmatischen Augen (n gesamt = 75) eine stärkere Krümmung des horizontalen (61,33%) als des vertikalen Meridians (38,67%) und somit einen Astigmatismus gegen die Regel.

### 2.13.3: Einteilung des Astigmatismus nach dem Brechungszustand der Hauptmeridiane bei normophaken Hunden

Bei POLLET (1982) traten der einfach myope und kombiniert myope Astigmatismus am häufigsten auf. Der hyperope Astigmatismus war nur selten zu sehen, während der gemischte Astigmatismus nicht nachgewiesen werden konnte. DUBAR und THIEULIN (1927) identifizierten am häufigsten den kombiniert myopen Astigmatismus. Die anderen Formen des Astigmatismus traten zu gleichen Anteilen auf (siehe Tabelle 23).

**Tab. 23: Ergebnisse über die Verteilung der verschiedenen Formen des Astigmatismus bei normophaken Hunden**

Methode	Anzahl Hunde gesamt N	Anzahl astigmatischer Augen n	einfach myop [%]	kombiniert myop [%]	einfach hyperop [%]	kombiniert hyperop [%]	gemischt [%]	Literatur
Skioskopie	106	17	17,65	29,41	17,65	17,65	17,65	Dubar und Thieulin (1927)
Skioskopie	/	23	60,87	30,43	4,35	4,35	/	Pollet (1982)

/ = keine Angaben

### 2.14 Astigmatismus bei Hunden nach einem intraokularen Eingriff

Nach einer Kataraktoperation bzw. nach einem intraokularen Eingriff nehmen sowohl die Häufigkeit als auch die Höhe des Astigmatismus beim Hund zu (POLLET 1982, NELMS et al 1994, NEUMANN et al. 1998). Mit der Länge der postoperativen Zeitspanne besteht die zunehmende Tendenz zur Wiederherstellung des präoperativen Zustandes, ohne diesen aber vollständig zu erreichen (POLLET 1982, NELMS et al. 1994, NEUMANN et al. 1998) (siehe Tabelle 24). Auch beim Menschen nimmt der postoperative Astigmatismus mit der Zeit ab (FLOYD 1951).

In einer Untersuchung von NELMS et al. (1994) war der Astigmatismus sowohl nach kornealem als auch nach skleralem Zugang bei einer Kataraktoperation mittels Phakoemulsifikation bei Hunden höher als vor der Operation. Direkt postoperativ wiesen Hunde mit kornealem Zugang zwar durchschnittlich einen signifikant höheren Astigmatismus

auf als Hunde mit skleralem Zugang, ein Monat nach dem Eingriff bestand jedoch kein deutlicher Unterschied mehr zwischen beiden Gruppen (NELMS et al. 1994) (siehe Tabelle 24). Bei allen Hunden, unabhängig von der Art des intraokularen Zuganges, trat direkt postoperativ ein Astigmatismus nach der Regel auf, während bei der späteren Messung ein Astigmatismus gegen die Regel vorlag. Auch NEUMANN et al. (1998) stellten häufiger einen Astigmatismus gegen die Regel nach einem intraokularen Eingriff fest. Beim Menschen trat in den ersten Tagen nach einer Kataraktoperation mit korneoskleralem Zugang gleichermaßen ein Astigmatismus nach der Regel auf, was auf den Zug der korneoskleralen Nähte zurückgeführt wurde (FLOYD 1951). Sechs Monate postoperativ waren jedoch die beiden Typen von Astigmatismus annähernd gleich verteilt, wobei eine geringe Tendenz zum häufigeren Auftreten des Astigmatismus gegen die Regel bestand (FLOYD 1951). Der postoperative Astigmatismus war in den Untersuchungen von NELMS et al. (1994) in allen Fällen regelmäßig. Direkt postoperativ trat vermehrt ein schiefer Astigmatismus auf, wobei sich bereits ein Monat später die Achsen der Hauptmeridiane wieder annähernd in die 90 und 180 Grad Stellung verlagerten.

**Tab. 24: Ergebnisse über die Höhe und Häufigkeit von Astigmatismus nach einem intraokularen Eingriff beim Hund**

Methode	Art des intraokularen Zugangs	Anzahl untersuchter Augen N	Zeitintervall post op [Wo], [Mo]	Prozentzahl Augen mit Astigmatismus [%]	durchschnittlicher Astigmatismus [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Skiaskopie	korneal	49	3 Wo	36	/	1 – 2	Pollet (1982)
		19	3 Mo	21	/	/	
Keratometrie	korneal	10	direkt	/	4,4	0,2 – 10,8	Nelms et al. (1994)
		10	1 Mo	/	2,35	0,1 – 3,9	
	skleral	10	direkt	/	1,3	0,1 – 4,1	
		10	1 Mo	/	1,36	0,0 – 3,9	

/ = keine Angaben

## 2.15 Astigmatismus bei normophaken Katzen

### 2.15.1 Häufigkeit und Höhe des Astigmatismus bei normophaken Katzen

Astigmatismus trat bei Katzen mit einer Häufigkeit von 4 bis 20,2% auf (DUBAR und THIEULIN 1927, YINON et al. 1984, GILGER et al. 1998b) (siehe Tabelle 24). Katzenwelpen wiesen häufiger Astigmatismus auf als adulte Katzen (FREEMAN 1980). GILGER et al. (1998b) gaben jedoch nur die Prozentzahlen astigmatischer Augen an, deren Meridiane eine Brechkraftdifferenz von mehr als 1 dpt aufwiesen (siehe Tabelle 24). Bei GILGER et al.

(1998a) trat ein Astigmatismus von über 1 dpt dagegen überhaupt nicht auf. Ob ein geringerer Astigmatismus vorlag, geht aus den Angaben nicht hervor. Der durchschnittliche Astigmatismus adulter Katzen betrug weniger als 1 dpt (YINON et al. 1984, GILGER et al. 1998b). Katzenwelpen wiesen mehrheitlich einen Astigmatismus bis zu 3 dpt auf, während bei der Mehrzahl der adulten Katzen mit Astigmatismus ein Brechkraftunterschied der Hauptmeridiane nur bis maximal 0,5 dpt (FREEMAN 1980) bzw. 1,2 dpt auftrat (GILGER et al. 1998b) (siehe Tabelle 25).

**Tab. 25: Ergebnisse über die Höhe und Häufigkeit von Astigmatismus bei normophaken Katzen**

Methode	Anzahl Katzen N	Anzahl Augen N	Alter [T]	Prozentzahl Augen mit Astigmatismus [%]	Mittlerer Unterschied zwischen den Meridianen [dpt]	Spannweite [dpt]	Literatur
Skioskopie	30	/	/	5	/	/	Dubar und Thieulin (1927)
Keratometrie	38	/	bis 200	/	/	bis 4,3	Freeman (1980)
		/	über 400	/	/	bis 1,3	
Ophthalmometrie	/	/	/	20,2	0,57	/	Yinon (1984)
Keratometrie	25	50	/	/	li 0,31, re 0,33	0 – 1,2	Gilger et al. (1998b)
	25	50	/	4	>1	/	
Keratometrie	8	16	/	0	>1	/	Gilger et al. (1998a)

/ = keine Angaben

li, re = linkes Auge, rechtes Auge

### 2.15.2 Einteilung des Astigmatismus nach dem Brechungszustand der Hauptmeridiane bei normophaken Katzen

DUBAR und THIEULIN (1927) ermittelten ausschließlich einen kombiniert hyperopen Astigmatismus bei der Katze.

### 2.16 Astigmatismus bei Katzen nach einem intraokularen Eingriff

GILGER et al. (1998a) wiesen mittels Keratometrie vier Wochen nach der Implantation einer Intraokularlinse bei drei von 16 Augen einen Astigmatismus von über 1 dpt nach, während präoperativ bei keiner Katze Astigmatismus von über 1 dpt zu sehen war. Auch 12 Wochen postoperativ waren diese Augen noch im Bereich von 1 bis 1,5 dpt astigmatisch.

## **2.17 Anisometropie**

Anisometropie liegt vor, wenn die Brechkraft beider Augen verschieden ist (REIM 1990, LEYDHECKER und GREHN 1993). Sie resultiert in unterschiedlich großen Netzhautbildern, die bei einem Refraktionsunterschied von mehr als 4 dpt im Gehirn nicht mehr zu einem Bild verschmelzen können, was zu einem Doppelsehen von Gegenständen führt (LEYDHECKER und GREHN 1993). Anisometropie gilt als eine der häufigsten Ursachen von Amblyopie beim Menschen (SMITH et al. 1985, KIORPES et al. 1993).

### **2.17.1 Anisometropie bei normophaken Hunden**

Bei DERKSEN (1920) und POLLET (1982) wiesen die untersuchten Hunde häufig eine unterschiedliche Brechkraft beider Augen auf. POLLET (1982) beurteilte Brechkraftunterschiede von 0,5 dpt als normal, während Differenzen von 1 dpt bis 2 dpt nur bei 6% der untersuchten Hunde auftraten. WEBER (1961) stellte bei 38,9% der Hunde eine Anisometropie von 0,5 dpt und 1,5 dpt fest. MURPHY et al. (1992) fanden nur bei 16,25% der untersuchten Hunde eine unterschiedliche Brechkraft beider Augen von mindestens 0,5 dpt. In den Untersuchungen von BODEN (1909) und MUTTI et al (1999) waren die Hunde im allgemeinen isometrop.

### **2.17.2 Anisometropie bei normophaken Katzen**

NI und SMITH (1989) stellten bei 36,36% der normalen Katzen eine Anisometropie von maximal 0,75 dpt fest. ROSE et al. (1974) wiesen bei normalen Katzen keine Unterschiede in der durchschnittlichen Refraktion des linken und rechten Auges nach.

## **2.18 Sehschärfe**

Eine wichtige Sehleistung des Auges ist das Auflösungsvermögen bzw. die Sehschärfe. Die Sehschärfe beschreibt die Fähigkeit, Einzelheiten eines Objektes getrennt wahrzunehmen (KROSS 1993). Das Auflösungsvermögen der Netzhaut, das auch als „Minimum separabile“ bezeichnet wird, ist der kleinste Abstand zwischen zwei Punkten, der erforderlich ist, damit diese für das Auge noch getrennt wahrnehmbar sind (HOLLWICH 1988). Liegen die Punkte zu dicht beieinander, verschmelzen sie zu einem Strich (HOLLWICH 1988). Die hauptsächlichsten Faktoren, die beim Auge die Sehschärfe bestimmen, sind die Qualität der Optik und die Vorgänge der Netzhaut, die das Netzhautbild in Entladungen von Ganglienzellen umwandeln (STEINBERG et al. 1973).

### **2.18.1 Retinale Faktoren bei der Sehschärfe**

Der Bereich des schärfsten Sehens zeichnet sich beim Menschen und auch bei Hunden und Katzen durch eine höhere Dichte an Zapfen und Ganglienzellen aus (STONE 1965, KOCH und RUBIN 1972, STEINBERG et al. 1973, HUGHES 1975, HEBEL 1976, STONE 1978, KRINKE et al. 1981, WÄSSLE und BOYCOTT 1991, COHEN 1992, PEICHL 1992a, PEICHL 1992b, WILLIAMS et al. 1993). Beim Menschen beinhaltet die Region des schärfsten Sehens eine Fovea (Grube) (COHEN 1992). Hunde und Katzen besitzen keine Fovea. Der Netzhautbereich erhöhter Ganglienzell- und Zapfendichte wird hier als Area centralis

bezeichnet (STONE 1965, KOCH und RUBIN 1972, STEINBERG et al. 1973, HUGHES 1975, HEBEL 1976, STONE 1978, KRINKE et al. 1981, WÄSSLE und BOYCOTT 1991, PEICHL 1992a, PEICHL 1992b, WILLIAMS et al. 1993). Die Area centralis des Hundes und der Katze hat die Form eines horizontalen Streifens, der dorsal des Sehnervenkopfes liegt und von nasal nach temporal verläuft (STONE 1965, STEINBERG et al. 1973, HUGHES 1975, HEBEL 1976, KRINKE et al. 1981, PEICHL 1992a, PEICHL 1992b). Der horizontale Streifen wird auch visueller Streifen genannt (PEICHL 1992b). Innerhalb der Area centralis befindet sich bei Hunden und Katzen ein Bereich maximaler Zellkonzentration (STONE 1965, HEBEL 1976, KRINKE et al. 1981, PEICHL 1992a, PEICHL 1992b). In einem ausgeprägten visuellen Streifen ist die Ganglienzelldichte höher als in einem gering ausgebildeten Streifen, so daß angenommen werden kann, daß Hunde mit milderer Ausprägung des visuellen Streifens eine geringere Sehschärfe aufweisen als Hunde mit deutlichem Streifen (PEICHL 1992a).

### **2.18.1.1 Photorezeptoren der Netzhaut**

Die Stäbchen und Zapfen sind die Photorezeptoren der Netzhaut. Die Zapfen weisen im Gegensatz zu den Stäbchen eine geringe Sensitivität, aber ein höheres visuelles Auflösungsvermögen auf (SLATTER 1990). Die Zapfendichte ist im Bereich der Area centralis am höchsten und in der Peripherie der Netzhaut am geringsten (KOCH und RUBIN 1972, STEINBERG et al. 1973, WILLIAMS et al. 1993). Bei Hunden und Katzen sind im Bereich der Area centralis sowohl Zapfen als auch Stäbchen enthalten (KOCH und RUBIN 1972, STEINBERG et al. 1973, WILLIAMS et al. 1993), während der Mensch einen zentralen Netzhautbereich aufweist, der ausschließlich Zapfen besitzt (COHEN 1992). Im Bereich des schärfsten Sehens beträgt bei der Katze die maximale Zapfendichte 26.000 – 40.000/mm<sup>2</sup> (STEINBERG et al. 1973, WILLIAMS et al. 1993). Der Mensch besitzt im Vergleich dazu eine durchschnittliche foveale Zapfendichte von 199.000 Zapfen/mm<sup>2</sup> (CURCIO et al. 1990).

Das retinale Auflösungsvermögen hängt aber nicht nur von der Zapfendichte ab, sondern auch von dem zahlenmäßigen Verhältnis von Zapfen zu Ganglienzellen (WÄSSLE und BOYCOTT 1991), da eine maximale visuelle Unterscheidungsmöglichkeit auftritt, wenn eine Photorezeptorzelle mit einer bipolaren Zelle verknüpft ist und diese mit einer Ganglienzelle kommuniziert (SLATTER 1990). In der Fovea des Primaten befinden sich 0,3 Zapfen pro Ganglienzelle, während in der Area centralis der Katze vier Zapfen pro Ganglienzelle vorkommen (STEINBERG et al. 1973, WÄSSLE und BOYCOTT 1991).

### **2.18.1.2 Ganglienzellen der Netzhaut**

Das Auflösungsvermögen der Netzhaut hängt nicht nur von der Dichte an Ganglienzellen ab, sondern auch von dem Abstand zwischen den Ganglienzellen und der Größe ihrer dendritischen Felder (WÄSSLE und BOYCOTT 1991, PEICHL 1992b): Lediglich Zellen mit hoher Dichte und kleinen dendritischen Feldern sind in der Lage eine hohe Sehschärfe zu liefern. Im Bereich der zentralen Retina weisen auch bei Hunden und Katzen die Ganglienzellen die geringste dendritische Feldgröße auf (STONE 1965, STONE 1978, KRINKE et al. 1981, WÄSSLE und BOYCOTT 1991, PEICHL 1992a, PEICHL 1992b). Im zentralen Bereich der Area centralis befinden sich beim Hund 6.400 bis 14.400 Zellen/mm<sup>2</sup> (HEBEL 1976, KRINKE et al. 1981, PEICHL 1992a), wobei nur Hunde mit ausgeprägtem visuellen Streifen und Wölfe eine Ganglienzelldichte im oberen Bereich aufweisen (PEICHL 1992a). Die

höchste Ganglienzelldichte beträgt bei der Katze 9 – 10,500 Ganglienzellen/mm<sup>2</sup> (HUGHES 1975, WILLIAMS et al. 1993).

Aufgrund der unterschiedlichen Ganglienzelldichten und -topographien bei Hunden kann nach MURPHY et al. (1997) davon ausgegangen werden, daß bei Hunden unterschiedlicher Rassen eine Breite unterschiedlicher Sehschärfen, unabhängig von deren Brechungsfehlern, auftritt.

Die totale Anzahl von Fasern des Sehnerven, die von den Axonen der Ganglienzellen gebildet werden (SHIVELY et al. 1970), hat ebenfalls einen wichtigen Einfluß auf die Fähigkeit des visuellen Systems zur Informationsverarbeitung (POTTS et al. 1972). Der Rhesusaffe besitzt eine absolute Anzahl von Sehnervenfasern von 1,1 bis 1,8 Millionen und der Mensch von 1,1 bis 1,3 Millionen (POTTS et al. 1972).

Die absolute Ganglienzellzahl liegt bei Hunden hingegen nur zwischen 110,000 und 120,000 (PEICHL 1992a) und bei Katzen bei 90,000 – 217,000 (STONE 1965, HUGHES 1975, STONE 1978, WILLIAMS et al. 1986, WONG und HUGHES 1987). Die Ganglienzellen der Netzhaut des Hundes und Wolfes weisen eine große qualitative und quantitative morphologische Übereinstimmung mit den Ganglienzellen der Katze auf, was auch auf eine funktionelle Übereinstimmung hindeutet, so daß davon ausgegangen werden kann, daß Hunde und Katzen eine ähnlich hohe Sehschärfe aufweisen (PEICHL 1992b).

### **2.18.2 Messungen der Sehschärfe bei Hunden und Katzen**

Ein Indikator für die Sehschärfe des Menschen ist die Snellen Fraktion. Diese bezieht sich auf die Fähigkeit eines Menschen, zwischen Buchstaben oder Objekten in einem fixen Abstand zu unterscheiden, der in der Regel 20 Fuß oder 6 m beträgt. Snellen Fraktionen von 20/20, 20/40 oder 20/100 bedeuten, daß ein Mensch 20 Fuß von einem Objekt entfernt sein muß, um seine Details zu erkennen, während eine Person mit normalem Sehvermögen in einem Abstand von ebenfalls 20 oder 40 oder 100 Fuß die Feinheiten des Objektes auflösen kann. Mit diesem Test wird beim Menschen die Sehschärfe im Bereich der Fovea geprüft (MILLER und MURPHY 1995).

Die Sehschärfe wurde bei Hunden und Katzen mit Hilfe unterschiedlicher Methoden ermittelt, worunter Verhaltensuntersuchungen (NEUHAUS und REGENFUSS 1967, PASTERNAK und MERIGAN 1981, MURPHY et al. 1997), Messungen visuell evozierter Potentiale (FREEMAN 1981, ODOM et al. 1983, MURPHY et al. 1997), okzipital evozierter Potentiale (HARRIS 1978) oder evozierter zerebraler Potentiale (BERKELEY und WATKINS 1973), Muster-Elektroretinographie (ODOM et al. 1983, OFRI et al. 1993), Bestimmungen des opto-kinetischen Reflexes (EZEH et al. 1990), die Registrierung von Ganglienzellantworten auf Gittermuster (ENROTH-CUGELL und ROBSON 1966) und die Abbildung von Gittermustern auf die Netzhaut mit anschließender Fotografie und Ausphotometrierung des Films fallen (WÄSSLE 1971). Die Sehschärfe wird je nach Methode, mit der sie ermittelt wurde, in unterschiedlichen Einheiten ausgedrückt, die jedoch miteinander vergleichbar sind (MILLER und MURPHY 1995).

Über die Höhe der Sehschärfe des Hundes sind unterschiedliche Ergebnisse erzielt worden (NEUHAUS und REGENFUSS 1967, ODOM et al. 1983, EZEH et al. 1990, OFRI et al. 1993, MURPHY et al. 1997). Die höchste gemessene Sehschärfe beträgt beim Hund 12,59 Zyklen / Grad (ODOM et al. 1983) bzw. nach MILLER und MURPHY (1995) 20 / 50 auf der Snellen Skala, während der niedrigste ermittelte Wert für die maximale Sehschärfe des Hundes bei

6,9 Bogenminuten pro Phase (OFRI et al. 1993) bzw. bei 20 / 140 nach der Snellen Fraktion liegt (MILLER und MURPHY 1995).

Bei der Katze beträgt die auf unterschiedliche Weise ermittelte Sehschärfe 2,5 bis 8,5 Zyklen / Grad (ENROTH – CUGELL und ROBSON 1966, BERKELEY und WATKINS 1973, HARRIS 1978, FREEMAN 1981, PASTERNAK und MERIGAN 1981). Auf der Snellen Skala entsprechen diese Werte einer Sehschärfe von über 20 / 200 bis ungefähr 20 / 70 (MILLER und MURPHY 1995). In Bogenminuten ausgedrückt liegt nach WÄSSLE (1971) die Sehschärfe der Katze bei 4 bis 5. Dies würde nach der Snellen Fraktion einem Wert von 20 / 80 bis 20 / 95 entsprechen (MILLER und MURPHY 1995).

Nach ODOM et al. (1983) ist die bei Hunden gemessene Sehschärfe 1,3 – 2 mal größer als die bei Katzen unter gleichen Licht- und Kontrastbedingungen bestimmte Sehschärfe, während sie nur das 0,2 – 0,4 fache der Sehschärfe der Primaten beträgt.

MURPHY et al. (1997) stellten fest, daß schon eine geringe optische Defokussierung durch Minus- und Plusgläser, die vor die Augen von Hunden gehalten wurden, zu einer deutlichen Abnahme ihrer Sehschärfe führt. Mit einer +2 dpt Linse wurde bei einem normalerweise emmetropen Hund die Sehschärfe um 46% vermindert. Die Simulierung von Aphakie durch das Hervorrufen einer Hyperopie von +14 dpt reduzierte die Sehschärfe auf ein Minimum, was die Bedeutung der optischen Korrektur der Augen von Hunden nach einer Kataraktoperation unterstreicht (MURPHY et al. 1997). Der Ausgleich der vorhandenen Refraktionsfehler der Hunde durch Korrekturgläser führte dagegen zu einer maximalen Antwort der visuell evozierten Potentiale. Verhaltensuntersuchungen bei myopen Jagdhunden konnten ebenfalls zeigen, daß die Korrektur der Ametropie der Hunde zu einer höheren Sehschärfe führte, was sich in der verbesserten Ausführung jagdlicher Aufgaben ausdrückte (MURPHY et al. 1997). Die Autoren empfehlen bei Hunden, die zur Verrichtung von Aufgaben vorgesehen sind, vor ihrer Ausbildung eine Refraktionsbestimmung vornehmen zu lassen, zudem nach den Untersuchungen von MURPHY et al. (1992) eine hereditäre Komponente in der Entwicklung von Myopie beim Hund nicht auszuschließen ist.

Bei der Katze führte die Korrektur eines vorhandenen Brechungsfehlers ebenfalls zur höchsten meßbaren Sehschärfe, während die künstliche Erzeugung einer Hyperopie von bereits +1,5 dpt die Sehschärfe reduzierte (BERKELEY und WATKINS 1973).