

Aus der Klinik für Pferde

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes
sowie Gerichtliche Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand : Prof. Dr. H. Gerhards

Arbeit angefertigt unter Leitung von Pvd Dr. B. Wollanke

**“Die Elektroretinographie
bei equinen
Uveitis- und Glaukomentpatienten”**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität

München

von

Judith Andrea Eckenweiler

aus Hechingen

München 2008

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. J. Braun

Referent: Pvd Dr. B. Wollanke

Korreferent: Univ.-Prof. C. Deeg

Tag der Promotion: 08. Februar 2008

**Meinem Vater†
und meiner Familie**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Augapfels im Vertikalschnitt, modifiziert nach Liebich (2002).....	3
Abbildung 2: Histologischer Bau der Pars optica retinae und der Choroidea, modifiziert nach Liebich (1999).....	6
Abbildung 3: ERG-Kurve mit Nulllinie (N), Amplitudenmaximum der a-Welle (a) und b-Welle (b).....	12
Abbildung 4: Positionierung der Elektroden für die elektroretinographische Ableitung beim Pferd, modifiziert nach Brooks (1999): Kontaktlinsenelektrode auf der Hornhaut, Referenzelektrode am lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges und Erdungselektrode subkutan ca. 1 cm entfernt vom Scheitelpunkt des Kopfes	19
Abbildung 5: Position der Referenzelektrode modifiziert nach Rottensteiner (2000): die Referenzelektrode wurde mit ca. 0,5 cm Abstand zu der Wimpernreihe im Unterlid platziert; es wurde dabei am Übergang vom nasalen zum mittleren Drittel eingestochen und die Nadel bis zum Konus subkutan vorgeschoben.....	19
Abbildung 6: Position der Erdungselektrode, modifiziert nach Rottensteiner (2000): der Schnittpunkt der Medianen mit der Verbindungslinie zwischen den beiden Foramina supraorbitales	19
Abbildung 7: Aufbau der Messapparatur auf einem Rollwagen.....	44
Abbildung 8: Fixation des Pferdekopfes und Positionierung der Elektroden am Pferdekopf nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges, Erdungselektrode in der Medianen auf Höhe Schopfansatz, aktive Elektrode auf der Hornhaut)	47
Abbildung 9: Positionierung der Kooijman-elektrode während eines Lichtstimulus auf der Hornhaut des zu untersuchenden Auges bei manueller Fixation des Oberlids	48
Abbildung 10: Die Erdungselektrode wurde subkutan in der Medianen auf Höhe des Schopfansatzes platziert	48
Abbildung 11: Referenzelektrodenplatzierung nach Messmethode I: in der Mitte des Unterlides am Übergang vom nasalen zum mittleren Drittel des Unterlids subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges	49

Abbildung 12: Referenzelektrodenplatzierung nach Messmethode II: ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges	49
Abbildung 13: ERG-Kurve eines gesunden Auges bei einer Frequenz von 28 Hz	55
Abbildung 14: ERG Beispielkurve von Pferd I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid), bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = 8,28 μ V, b-Wellenamplitude = 75,8 μ V	60
Abbildung 15: ERG Beispielkurve von Pferd I, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = 13,7 μ V; b-Wellenamplitude = 134 μ V	61
Abbildung 16: ERG Beispielkurve von Pferd II, gemessen nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid), bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = 10,3 μ V, b-Wellenamplitude = 58,8 μ V	62
Abbildung 17: Beispielkurve von Pferd II, gemessen nach Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = 9,47 μ V, b-Wellenamplitude = 88,7 μ V.....	63
Abbildung 18: Beispielkurve von Pferd III bei Messung mit 1,3 Hz, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid); a-Wellenamplitude = 2,76 μ V, b-Wellenamplitude = 57,1 μ V.....	65
Abbildung 19: Beispielkurve von Pferd III bei Messung mit 1,3 Hz, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus); a-Wellenamplitude = 3,1 μ V, b-Wellenamplitude = 70,5 μ V	66
Abbildung 20: ERG-Kurve des gesunden Auges von Pferd I bei einer Lichtintensität von 0 dB, gemessen bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 1,1 μ V, b-Wellenamplitude: 162 μ V	68
Abbildung 21: ERG- Kurven des gesunden Auges von Pferd I bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve), gemessen bei 1,3 Hz; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle	69
Abbildung 22: ERG-Kurve des kranken Auges von Pferd I bei einer Lichtintensität von 0 dB, gemessen bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 7,16 μ V, b-Wellenamplitude: 36,1 μ V	70
Abbildung 23: ERG-Kurven des erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve), bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 12,3 μ V/ 20,2 μ V, b-Wellenamplitude: 44,6 μ V/ 56,4 μ V	71

Abbildung 24: ERG-Kurve des gesunden Auges von Pferd IV, gemessen bei einer Lichtintensität von 0 dB, bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 9,5 μ V, b-Wellenamplitude: 166 μ V	76
Abbildung 25: ERG-Kurven des an Uveitis erkrankten Auges vom Pferd IV, gemessen bei einer Lichtintensität von 0 dB bei 1,3 Hz, a-Wellenamplitude: 11,3 μ V, b-Wellenamplitude: 151 μ V	78
Abbildung 26: ERG-Kurven des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd IV, gemessen bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve) bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 7,2 μ V/51,5 μ V, b-Wellenamplitude: 195 μ V/163 μ V	79
Abbildung 27: skotopisches ERG des rechten Auges von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) bei Messschritt 1.2: Lichtintensität: - 20 dB bzw. 0,03 cd*s/m ² Frequenz: 0,2 Hz ; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle	95
Abbildung 28: skotopisches ERG des linken Auges von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) bei Messschritt 1.2 : Lichtintensität: - 20 dB bzw. 0,03 cd*s/m ² ; Frequenz: 0,2 Hz ; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle.....	96
Abbildung 29: skotopisches ERG bei Messschritt 1 des rechten Auges von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) bei Messschritt 1.2: Lichtintensität: - 20 dB, Frequenz 0,2 Hz; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle	97
Abbildung 30: skotopisches ERG bei Messschritt 1 des linken Auges von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) bei Messschritt 1.2: Lichtintensität: - 20 dB, Frequenz: 0,2 Hz; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle	98
Abbildung 31: Liniendiagramm aus den Werten der Tabelle 56 der a-Wellenamplituden von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) und Pferd II (ohne pathologische Veränderungen an den Augen); Messschritt 1-6 mit jeweils 1 Messung pro Seite (links/rechts).....	100
Abbildung 32: Liniendiagramm aus den Werten der Tabelle 56 der b-Wellenamplituden von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) und Pferd II (ohne pathologische Abweichungen an den Augen)); Messschritt 1-6 mit jeweils 1 Messung pro Seite (links/rechts).....	101

Abbildung 33: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Uveitis erkrankter Augen; gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	112
Abbildung 34: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen) gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	115
Abbildung 35: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologischen Abweichungen) gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	116
Abbildung 36: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen, nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	118
Abbildung 37: Säulendiagramm der Latenzen der a-Welle, gemessen bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen bei 1,3 Hz	120
Abbildung 38: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Uveitis erkrankter Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz	122
Abbildung 39: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Uveitis II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz.....	125
Abbildung 40: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz	126
Abbildung 41: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Uveitis II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz.....	128
Abbildung 42: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen gemessen (Untersuchungsgruppe Uveitis II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz	129

Abbildung 43: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Glaukom erkrankter Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode im Unterlid) und 1,3 Hz	131
Abbildung 44: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	134
Abbildung 45: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	135
Abbildung 46: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei gesunden Pferdeaugen der (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	137
Abbildung 47: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz	138
Abbildung 48: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Glaukom erkrankter Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz.....	139
Abbildung 49: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz.....	143
Abbildung 50: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an einem Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz	144
Abbildung 51: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz.....	145
Abbildung 52: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3Hz.....	146

Abbildung 53: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe der b-Welle, bei Augen ohne Abweichungen im Sinne einer Uveitis, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3Hz	148
Abbildung 54: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenz der b-Welle bei Augen ohne Abweichungen im Sinne einer Uveitis, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3Hz	149
Abbildung 55: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle, bei Augen ohne Trübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	150
Abbildung 56: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und der Latenz der b-Welle in ms, bei Augen ohne Trübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	151
Abbildung 57: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe der b-Welle, bei an Uveitis erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	154
Abbildung 58: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenzzeit der a-Welle, bei Augen ohne Abweichungen im Sinne einer Uveitis, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	155
Abbildung 59: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne Linsentrübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	156
Abbildung 60: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Latenzzeit der b-Welle bei Augen ohne Trübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz	157
Abbildung 61: Box Plot: Zusammenhang zwischen Einlagerungen in den Glaskörper und Amplitudenhöhe der b-Welle bei an Uveitis erkrankten Augen mit Glaskörpertrübungen	

(1 - 5), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	158
Abbildung 62: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle in μV bei Augen ohne Trübungen der Linse (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	160
Abbildung 63: Box Plot: Zusammenhang zwischen Hornhauttrübung und Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne Hornhauttrübungen (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Hornhauttrübungen (1 - 5), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	162
Abbildung 64: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne Linsetrüben (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Linsentrübungen(1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	164
Abbildung 65: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungen des Glaskörpers und Amplitudenhöhe der b-Welle, bei Augen ohne Trübungen des Glaskörpers (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Trübungen des Glaskörpers (1-5), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	165
Abbildung 66: Kooijmanelektrode für elektroretinographische Ableitungen bei Pferden der Firma Acri.Tec	168
Abbildung 67: Miniganzfeld der Firma Acri.Tec für elektroretinographische Ableitungen beim Pferd der Firma Acri.Tec	172
Abbildung 68: ERG- Kurven des gesunden Auges von Pferd I bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve), gemessen bei 1,3 Hz.....	192

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Amplituden und Latenzen der a- und b-Welle bei Messungen unter Helladaptation veröffentlicht von Brooks (1999)	37
Tabelle 2: Referenzwerte bei Messungen nach einer Dunkeladaptationszeit von 5 Minuten und einer Blitzlichtintensität von 0,33 cd*s/m ² ; Sitz der Elektroden: aktive Elektrode auf der Kornea, Referenzelektrode an dem lateralen Kanthus des stimulierten Auges und Erdungselektrode subkutan ca. 1 cm vom Scheitelpunkt am Schädelknochen entfernt ..	38
Tabelle 3: Referenzwerte bei Messungen nach einer Dunkeladaptationszeit von 5 Minuten und einer Blitzlichtintensität von 4,62 cd/m ² , Sitz der Elektroden: aktive Elektrode auf der Kornea, Referenzelektrode an dem lateralen Kanthus des stimulierten Auges und Erdungselektrode subkutan ca. 1 cm vom Scheitelpunkt am Schädelknochen entfernt ..	38
Tabelle 4: Ergebnisse der Messungen von Komáromy et al. (2003) der b-Wellenamplitude bei Pferden bei Dunkeladaptation; Sitz der Referenzelektrode: subkutan ca. 2 cm neben dem lateralen Kanthus; Sitz der Referenzelektrode: subkutan über dem Okkzipitalknochen	39
Tabelle 5: Messprotokoll zur elektroretinographischen Messung bei Dunkeladaptation	47
Tabelle 6: Messergebnisse (Median) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd I, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges), bei 1,3 Hz	60
Tabelle 7: Messergebnisse Mittelwert (\bar{x}) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd I, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz	61
Tabelle 8: Messergebnisse (Median) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd II, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz	63

Tabelle 9:	Messergebnisse Mittelwert (\bar{x}) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd II, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz.....	64
Tabelle 10:	Messergebnisse (Median) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd III, gemessen und unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz	65
Tabelle 11:	Messergebnisse Mittelwert (\bar{x}) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd III, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz.....	67
Tabelle 12:	Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	68
Tabelle 13:	Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	69
Tabelle 14:	Messergebnisse der Latenz der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz.....	70
Tabelle 15:	Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	71
Tabelle 16:	Messergebnisse der Latenz der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	72
Tabelle 17:	Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz	72
Tabelle 18:	Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz	73

Tabelle 19: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz	73
Tabelle 20: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz	74
Tabelle 21: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	74
Tabelle 22: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	75
Tabelle 23: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	75
Tabelle 24: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	76
Tabelle 25: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	77
Tabelle 26: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle der an Uveitis erkrankten Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	77
Tabelle 27: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	79
Tabelle 28: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten und 1,3 Hz	80
Tabelle 29: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	80
Tabelle 30: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Pferdes V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	81
Tabelle 31: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Pferdes V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	81
Tabelle 32: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	82

Tabelle 33: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	82
Tabelle 34: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	83
Tabelle 35: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	83
Tabelle 36: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	84
Tabelle 37: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	84
Tabelle 38: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	85
Tabelle 39: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	85
Tabelle 40: Ergebnisse der Messungen der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle bei Messungen der gesunden, nicht vitrektomierten Augen bei 1,3 Hz.....	86
Tabelle 41: Ergebnisse der Messungen der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle bei Messungen bei an Uveitis erkrankten Augen, vor (prä) und nach (post) der Vitrektomie, bei 1,3 Hz	86
Tabelle 42: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	87
Tabelle 43: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	87
Tabelle 44: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz.....	88
Tabelle 45: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	88

Tabelle 46: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	89
Tabelle 47: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	89
Tabelle 48: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	90
Tabelle 49: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	90
Tabelle 50: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	91
Tabelle 51: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	91
Tabelle 52: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz	92
Tabelle 53: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten und 1,3 Hz	92
Tabelle 54: Amplitudenwerte des an Uveitis erkrankten Pferdeauges mit unterschiedlich stark getrübttem Glaskörper in den Entzündungsprodukten eingelagerten waren, gemessen zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchten Auges) bei 1,3 Hz.....	93
Tabelle 55: Latenzzeiten eines an Uveitis erkrankten Pferdeauges mit unterschiedlich stark getrübttem Glaskörper, in den wolkige Entzündungsprodukte eingelagerten waren; gemessen zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	93
Tabelle 56: Messergebnisse der Amplitudenhöhen und Latenzen der a- und b-Welle von Teil 1 des Messprotokolls bei Dunkeladaptation (mit 6 Messschritten pro Auge bei	

gleicher Geräteeinstellung, siehe Kapitel 3.2); Pferd I: mit Verdacht auf Nachtblindheit; Pferd II: ohne pathologische Veränderungen an den Augen.....	99
Tabelle 57: Messergebnisse der Latenzen der a- und b-Welle der linken Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB	102
Tabelle 58: Messergebnisse der Latenzen der a- und b-Welle der rechten Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB	103
Tabelle 59: Messergebnisse der Amplitudenhöhe der a- und b-Welle der linken Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB.....	104
Tabelle 60: Messergebnisse (Teil 1 - 6 des Untersuchungsprotokolls unter Dunkeladaptation) der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle der rechten Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB.....	105
Tabelle 61: Absolute Differenz der Amplitudenhöhen der a-Welle und der b-Welle: Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) minus Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit); Messergebnisse von Teil 1 des Messprotokolls: 12 Wiederholungsmessungen in 4 minütigen Abstand bei zunehmender Dunkeladaptationszeit (siehe Kapitel 3.2)	106
Tabelle 62: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	107

Tabelle 63: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 28 Hz	108
Tabelle 64: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	108
Tabelle 65: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 28 Hz	109
Tabelle 66: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz	109
Tabelle 67: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz	110
Tabelle 68: Messergebnisse der Messungen gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz.....	110
Tabelle 69: Messergebnisse der Messungen gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz.....	111
Tabelle 70: Messergebnisse bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz	113
Tabelle 71: Messergebnisse bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 28 Hz	113
Tabelle 72: Vorkommen von Glaskörpertrübungen (I) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	114

Tabelle 73: Vorkommen von Glaskörpereinlagerungen (II) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	114
Tabelle 74: Geschätzte Pupillenweite (III) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	114
Tabelle 75: Verwendete Sedierung (IV) bei der elektroretinographischen Messung	114
Tabelle 76: Vorkommen von Linsentrübungen (V) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	114
Tabelle 77: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VII) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	115
Tabelle 78: Vergleich der Amplitudenhöhe der a-Welle bei Pferdeaugen mit (krank) und ohne pathologische Abweichungen (gesund) im Sinne einer Uveitis, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz.....	117
Tabelle 79: Vergleich der Amplitudenhöhe der b-Welle kranker und gesunder Augen gemessen nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz.	119
Tabelle 80: Vergleich der Latenzen der a-Welle kranker und gesunder Augen gemessen nach Methode I und 1,3 Hz.....	121
Tabelle 81: Vergleich der Latenzen der b-Welle kranker und gesunder Augen gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz.....	121
Tabelle 82: Messergebnisse in μV bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) und 1,3 Hz	123
Tabelle 83: Messergebnisse bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz	123
Tabelle 84: Vorkommen von diffusen Glaskörpertrübungen (I) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II.....	124
Tabelle 85: Vorkommen von wolkigen Glaskörpereinlagerungen (II)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II.....	124
Tabelle 86: Geschätzte Pupillenweite (III)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II	124

Tabelle 87: Verwendete Sedierung (IV) bei der elektoretinographischen Messung	124
Tabelle 88: Vorkommen von Linsentrübungen (V)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II.....	124
Tabelle 89: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VI)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II.....	125
Tabelle 90: Vergleich der Amplitudenhöhe der a–Welle bei Pferdeaugen mit (krank) und ohne pathologische Abweichungen (gesund) im Sinne einer Uveitis, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	127
Tabelle 91: Vergleich der Amplitudenhöhe der b–Welle bei Pferdeaugen mit (krank) und ohne pathologischen Abweichungen (gesund) im Sinne einer Uveitis, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz.....	130
Tabelle 92: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode I (Referenzelektrode subkutan um Unterlid) und 1,3 Hz.....	132
Tabelle 93: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode I (Referenzelektrode subkutan um Unterlid) und 28 Hz.....	132
Tabelle 94: Vorkommen von diffusen Glaskörpertrübungen (I)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	132
Tabelle 95: Vorkommen von wolkigen Glaskörpereinlagerungen (II) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	133
Tabelle 96: Geschätzte Pupillenweite (III) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	133
Tabelle 97: Verwendete Sedierung (IV) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	133
Tabelle 98: Vorkommen von Linsentrübungen (V) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	133
Tabelle 99: Vorkommen von Hornhauttrübungen (VI) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	133
Tabelle 100: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VII) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I	134

Tabelle 101: Vergleich der Amplitudenhöhe der a-Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3Hz.....	136
Tabelle 102: Vergleich von Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz.....	138
Tabelle 103: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz	140
Tabelle 104: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz	140
Tabelle 105: Vorkommen von diffusen Glaskörpertrübungen (I) bei den an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	140
Tabelle 106: Vorkommen von wolkigen Glaskörpereinlagerungen (II) bei den an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	141
Tabelle 107: Geschätzte Pupillenweite (III) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	141
Tabelle 108: Verwendete Sedierung (IV) bei der elektroretinographischen Messung (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	141
Tabelle 109: Vorkommen von Linsentrübungen (V) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen	141
Tabelle 110: Vorkommen von Hornhauttrübungen (VI) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen.....	141
Tabelle 111: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VII) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen.....	142
Tabelle 112: Vergleich von Amplitudenhöhe μ V der a-Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz	144

Tabelle 113: Vergleich von Amplitudenhöhe der b–Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkanthus entfernt) bei 1,3 Hz	146
Tabelle 114: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a– und der b–Welle bei an Uveitis erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode im Unterlid) bei 1,3 Hz	152
Tabelle 115: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a– und der b–Welle bei an Uveitis erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz	159
Tabelle 116: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a– und der b–Welle bei an Glaukom erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode im Unterlid) bei 1,3 Hz	161
Tabelle 117: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a– und der b–Welle bei an Glaukom erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz	166

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
Aa.	Arterien
dB	Dezibel
Dpt	Dioptrin
EEG	Elektroenzephalogramm
EOG	Elektrookulogramm
ERG	Elektroretinogramm
ERU	Equine Rezidivierende Uveitis
fL	foot - Lambert
hgrd.	Hochgradig
[Hz]	Herz
IOD	Intraokulardruck
i.v.	intravenös
LEDs	Light-emitting Diodes
M.	Muskel
mgrd.	Mittelgradig
N.	Nerv
NPA	negative Photopische Antworten
OP	oszillatorisches Potential
s.c.	subkutan
SI	Système International d'unités
V.	Vene
VEP	Visuell Evozierte Potentiale
Vv.	Venen
Ω	Ohm

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
2 LITERATURÜBERSICHT	3
2.1 AUFBAU DES AUGES	3
2.2 DIE RETINA.....	4
2.3 ZELLTYPEN DER RETINA	6
2.3.1 Photorezeptoren	7
2.3.2 Bipolarzellen	7
2.3.3 Horizontalzellen	7
2.3.4 Amakrine Zellen	8
2.3.5 Ganglienzellen.....	8
2.3.6 Müllersche Stützzellen.....	8
2.4 DIE BLUTGEFÄßVERSORGUNG UND ERNÄHRUNG DER RETINA	8
2.5 DER SEHVORGANG	9
2.5.1 Sehvermögen des Pferdes.....	9
2.6 DAS ABFLUSSSYSTEM DES KAMMERWASSERS AM PFERDEAUGE	9
2.7 ENTSTEHUNG UND ZUSAMMENSETZUNG EINES ELEKTRORETINOGRAMMS	10
2.8 WICHTIGE FAKTOREN IN DER ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN MESSUNG	13
2.8.1 Beeinflussbare Faktoren.....	13
2.8.2 Nicht beeinflussbare Faktoren	22
2.9 BEURTEILUNG DER MESSUNGEN.....	26
2.10 GRENZEN DER ELEKTRORETINOGRAPHIE	27
2.11 ALLGEMEINE INDIKATIONEN IN DER HUMANMEDIZIN	28
2.12 INDIKATIONEN IN DER VETERINÄRMEDIZIN	30
2.12.1 Allgemeine Indikationen	30
2.12.2 Spezielle Indikationen beim Pferd.....	31
2.13 WAHL EINES GEEIGNETEN UNTERSUCHUNGSPROTOKOLLS	37
2.14 BEURTEILUNG DER ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN KURVEN UND ERSTELLUNG VON REFERENZWERTEN ..	37
2.15 REFERENZWERTE FÜR ELEKTRORETINOGRAPHISCHE MESSUNGEN BEI PFERDEN UNTER HELLADAPTATION	38

Inhaltsverzeichnis

2.16 REFERENZWERTE FÜR DIE ELEKTRORETINOGRAPHISCHE MESSUNG BEI PFERDEN UNTER DUNKELADAP- TATION.....	39
2.17 MESSUNG VON OSZILLATORISCHEN POTENTIALEN.....	40
3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN	42
3.1 PATIENTEN.....	42
3.2 RETIPOINT 32.....	42
3.3 ELEKTRODEN	48
3.4 INDIKATIONEN FÜR DIE ELEKTRORETINOGRAPHISCHE MESSUNG.....	54
3.5 ABLAUF DER ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN MESSUNG	55
3.6 AUSWERTUNG DER MESSUNGEN.....	58
3.7 EINTEILUNG DER PATIENTEN	59
4 ERGEBNISSE.....	63
4.1 BEEINFLUSSUNG DES ERGS DURCH DEN SITZ DER REFERENZELEKTRODE.....	63
4.2 UNTERSCHIEDE IN DER LICHTINTENSITÄT BEI AN UVEITIS ERKRANKTEN AUGEN.....	72
4.3 BEEINFLUSSUNG DES ERGS DURCH DIE VITREKTOMIE	93
4.4 ERGEBNISSE BEI MESSUNGEN MIT UNTERSCHIEDLICHEN LICHTINTENSITÄT BEI AN GLAUKOM ERKRANKTEN AUGEN.....	94
4.5 BEEINFLUSSUNG DES ERGS DURCH MEDIENTRÜBUNGEN ALS FOLGEERSCHEINUNG EINER UVEITIS	100
4.6 ERG – MESSUNGEN BEI DUNKELADAPTATION	101
4.7 ERG BEI PFERDEN OHNE OPHTHALMOLOGISCH ERKENNBARE PATHOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN DER AU- GEN.....	114
4.8 ERG BEI PFERDEN MIT PATHOLOGISCHEN VERÄNDERUNGEN AM AUGE IM SINNE EINER UVEITIS	118
4.8.1 Basisstatistik bei Messungen mit 1,3 Hz und 28 Hz bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (Untersu- chungsgruppe Uveitis I).....	119
4.8.2 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersu- chungsgruppe Uveitis I).....	120
4.8.3 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis I)	122
4.8.4 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis I)	125
4.8.5 Latenzen bis zum Erreichen der maximalen a-Wellenamplitude bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis I).....	128
4.8.6 Basisstatistik bei Messungen mit 1,3 Hz und 28 Hz bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (Untersu- chungsgruppe Uveitis II).....	131

Inhaltsverzeichnis

4.8.7 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersuchungsgruppe Uveitis II).....	132
4.8.8 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis II).....	134
4.8.9 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis II).....	137
4.9 ERG BEI PFERDEN MIT PATHOLOGISCHEN VERÄNDERUNGEN AM AUGE IM SINNE EINES GLAUKOMS	139
4.9.1 Basistatistik/Messergebnisse für die Messungen bei 1,3 Hz und 28 Hz bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	140
4.9.2 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	141
4.9.3 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	143
4.9.4 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Glaukom I).....	145
4.9.5 Basistatistik/Messergebnisse für die Messungen bei 1,3 Hz und 28 Hz bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II)	147
4.9.6 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersuchungsgruppe Glaukom II).....	148
4.9.7 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Glaukom II).....	151
4.9.8 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis II).....	154
4.10 UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSGRÖßEN AUF DAS ERG	156
4.10.1 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe ...	156
4.10.2 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenzen	157
4.10.3 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe ..	159
4.10.4 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Latenz	160
4.10.5 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung / einlagerung und Amplitudenhöhen.....	161
4.10.6 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Glaskörpereinlagerung und Latenzen	161
4.10.7 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe ..	161
4.10.8 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenzen.....	163
4.10.9 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe.	164
4.10.10 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Latenzen	165
4.10.11 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung /-einlagerungen und den Amplitudenhöhen.....	166
4.10.12 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung /-einlagerungen und den Latenzen	167

Inhaltsverzeichnis

4.10.13 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe	167
4.10.14 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe	168
4.10.15 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung /-einlagerungen und Amplitudenhöhen.....	169
4.10.16 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen der Hornhauttrübung und den Amplitudenhöhen.....	169
4.10.17 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe	170
4.10.18 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe	172
4.10.19 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung / einlagerung und Amplitudenhöhe.....	173
4.10.20 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Hornhauttrübung und Amplitudenhöhe.....	174
5 DISKUSSION	175
5.1 RETIPOINT 32	175
5.2 ELEKTRODEN	176
5.2.1 Kontaktlinsenelektroden.....	176
5.2.2 Nadelelektroden	177
5.2.3 Elektrodenplatzierung	177
5.3 KONTAKTGEL.....	178
5.4 BELEUCHTUNG BEI ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN MESSUNGEN UNTER HELLADAPTATION	179
5.4.1 Hintergrundbeleuchtung	179
5.4.2 Lichtquelle und Beleuchtungsfrequenz.....	179
5.5 BELEUCHTUNG UND ADAPTATIONSZEIT BEI ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN MESSUNGEN BEI DUNKELADAPTATION.....	181
5.6 PUPILLENDURCHMESSER.....	181
5.7 SEDIERUNG BEI DER ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN MESSUNG UNTER HELLADAPTATION	182
5.8 SEDIERUNG BEI DER ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN MESSUNG UNTER DUNKELADAPTATION	184
5.9 STÖRFAKTOREN BEI DER MESSUNG.....	184
5.10 WAHL DES ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGSPROTOKOLLS	185
5.11 BEURTEILUNG DER KURVEN UND AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE	186
5.12 ERG-ERGEBNISSE BEI HELLADAPTATION	187
5.12.1 ERG bei Helladaptation mit unterschiedlichen Lichtintensitäten bei Uveitispatienten	187

Inhaltsverzeichnis

5.12.2 <i>ERG bei Helladaptation mit unterschiedlichen Lichtintensitäten bei Glaukompatienten</i>	188
5.13 ERG BEI DUNKELADAPTATION	189
5.14 ERG BEI DUNKELADAPTATION BEI EINEM PFERD MIT NACHTBLINDHEIT	190
5.15 DIE ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN BEI UVEITISPATIENTEN	191
5.15.1 <i>Messergebnisse</i>	191
5.15.2 <i>Einfluss von Medientrüben auf das ERG bei Uveitispatienten</i>	192
5.15.3 <i>Zusammenfassende Betrachtung</i>	194
5.16 DIE ELEKTRORETINOGRAPHISCHEN UNTERSUCHUNGEN BEI GLAUKOMPATIENTEN	196
5.16.1 <i>Messergebnisse</i>	196
5.16.2 <i>Einfluss von Medientrüben auf das ERG bei Glaukompatienten</i>	196
5.16.3 <i>Zusammenfassende Betrachtung</i>	197
5.17 OSZILLATORISCHE POTENTIALE.....	198
5.18 PRÄOPERATIVE ELEKTRORETINOGRAPHISCHE MESSUNGEN.....	199
5.19 WEITERE ANWENDUNGSGEBIETE DER ELEKTRORETINOGRAPHIE.....	199
6 ZUSAMMENFASSUNG	201
7 SUMMARY	203
8 LITERATURVERZEICHNIS.....	205
9 DANKSAGUNGEN	206
10. ANHANG.....	207
10.1. PATIENTENBOGEN.....	207

1 Einleitung

Als Flucht- und Herdentier benötigt das Pferd, vor allem in der freien Wildbahn zum Überleben einen funktionsfähigen Visus. Die meisten Pferde, die nur (noch) auf einem Auge sehen können, adaptieren sich relativ schnell und gut an die Umstellung und können teilweise auch weiterhin erfolgreich im Sport und in der Zucht eingesetzt werden. Für die Sicherheit des Pferdes und die des Besitzers ist es dennoch wichtig zu wissen, ob das Pferd eine eingeschränkte Sehfähigkeit besitzt. Dementsprechend können dann der Umgang mit dem Pferd und die Haltungsbedingungen angepasst werden. Eine eingeschränkte Sehfähigkeit kann also durchaus eine Begrenzung in der Einsatzfähigkeit des Pferdes bedeuten und ist für den Besitzer nicht zuletzt auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten von Bedeutung. Bei Pferden mit vorberichtlich eingeschränktem Visus ist eine frühe Diagnosestellung vor allem im Hinblick auf die Prognose und das weitere therapeutische Vorgehen wünschenswert.

Häufig genügt eine normale klinische Untersuchung mit dem Ophthalmoskop, um erste Befunde am erkrankten Auge zu erheben. Spezialisierte Kliniken mit dem entsprechenden Equipment können weiterführende Diagnostik betreiben. Bei bestimmten Augenerkrankungen, die mit Trübungen der optischen Medien einhergehen, kann jedoch mithilfe der Standarduntersuchung häufig keine Aussage über den Zustand der hinteren Augenstrukturen gestellt werden. Eine sonographische Untersuchung ist notwendig, aber nicht ausreichend um den Funktionsstand der Retina zu überprüfen. Mit der Entdeckung der Elektroretinographie ergab sich zum ersten Mal die Möglichkeit, zusätzlich zur morphologischen eine funktionelle Diagnose über die Retinafunktion zu stellen.

Ein großes Einsatzgebiet der Elektroretinographie in der Veterinärophthalmologie, vor allem im Kleintierbereich, stellt die präoperative Beurteilung der Netzhautfunktion bei Kataraktoperationen dar. Da in den letzten Jahren eine Linsenentfernung bei Pferden immer häufiger durchgeführt wurde, kann auch hier mit einfachen elektroretinographischen Messungen eine Evaluierung der Netzhautfunktion vor der Operation erfolgen.

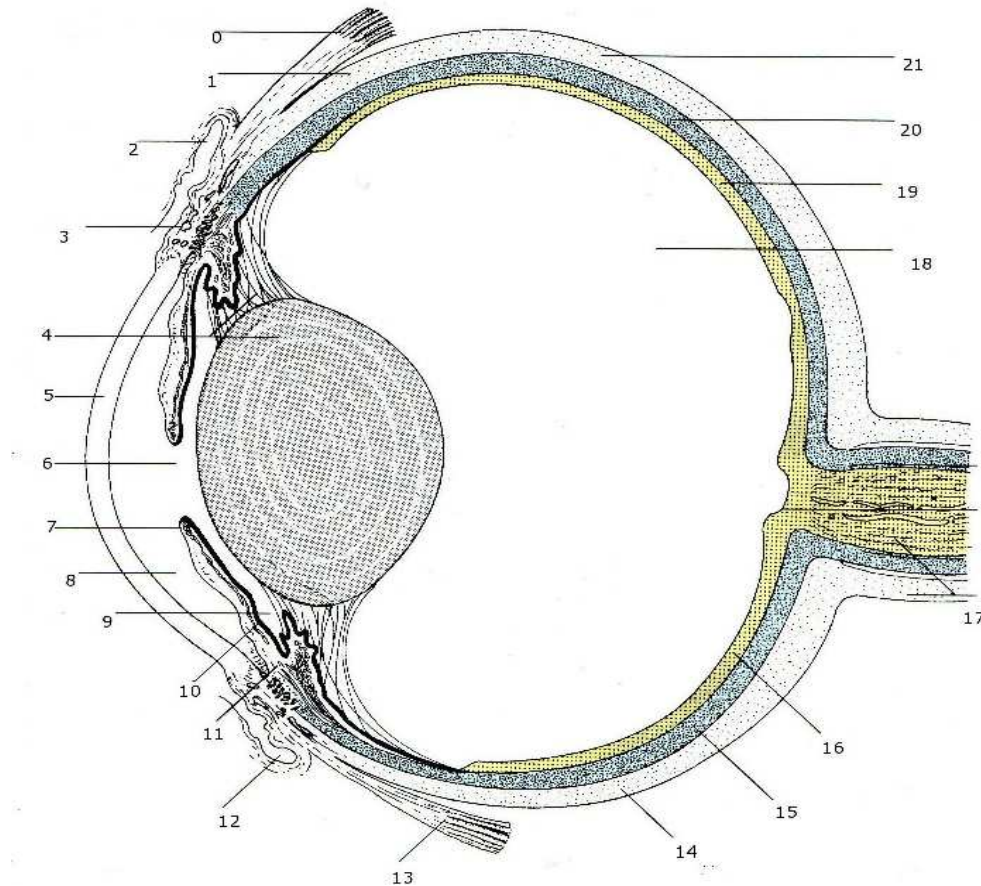
Seit den 90 er Jahren wird bei Pferden mit equiner rezidivierender Uveitis erfolgreich die Pars Plana Vitrektomie durchgeführt. Mit einem ERG kann vor dem operativen Eingriff die Netzhautfunktion geprüft werden, was für die Entscheidung zur Operation ausschlaggebend sein kann.

1 Einleitung

Des Weiteren werden auch bei Glaukompatienten und bei Patienten mit einer vermuteten zentralen Blindheit elektroretinographische Messungen durchgeführt. Die bisherigen Kenntnisse der Elektroretinographie in der Pferdeophthalmologie sollen durch diese Arbeit erweitert werden und eine Hilfestellung in der Beurteilung von ERGs bei equinen Uveitis- und Glaukompatienten bieten. Gleichzeitig sollte das ERG-Gerät RETIport 32 (Version 4.5.5) der Firma Acri.Tec AG Vet (Hennigsdorf) auf seine Anwendbarkeit, Praktikabilität und Zuverlässigkeit beim Pferd geprüft werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Aufbau des Auges



0 M. rectus dorsalis, 1 Sklera, 2 Fornix conjunctivae superior, 3 Anulus sclerae, 4 Lens mit Zonulae ciliares (Fibrae zonulares), 5 Cornea, 6 Pupilla, 7 Iris mit Pars iridica retinae, 8 Camera anterior bulbi, 9 Camera posterior bulbi, 10 Pars caecae retinae, 11 Corpus ciliare mit Pars ciliaris retinae, 12 Fornix conjunctivae inferior, 13 M. Rectus ventralis, 14 Sklera, 15 Choroidea, 16 Pars optica retinae, 17 N. opticus, 18 Corpus vitreum, 19 Tunica interna, 20 Tunica vasculosa, 21 Tunica fibrosa

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Augapfels im Vertikalschnitt, modifiziert nach Liebich (2002)

Durch seine Form (nach vorne und hinten zusammengedrückte Kugel) ist der Augapfel höher als breit und besitzt zwei Pole (kornealer und zerebraler Pol). Drei z.T. aneinander liegende

2 Literaturübersicht

Schichten bilden die Hüllen des Augapfels und halten den teils gelatinösen, teils flüssigen Inhalt zusammen.

Die äußere Augenhaut (*Tunica fibrosa bulbi*) wird durch den Innendruck des Bulbus unter Spannung gehalten. Sie besteht aus der durchsichtigen Kornea, die das distale Fünftel des Augapfels bildet und der derben Sklera, die die proximalen 4/5- Anteile des Augapfels formt. Die Aderhaut (*Choroidea mit Tapetum lucidum und Tapetum nigrum*) bildet zusammen mit dem Ziliarkörper (*Corpus ciliare*) und der Regenbogenhaut (*Iris*) die mittlere, gefäßführende Haut (*Tunica vasculosa bulbi/Traubenhaut/Uvea*). Zahlreiche Blutgefäße, Pigmentzellen, elastische Fasern und Nerven sind darin eingebettet. Auf die mittlere folgt die innere Augenhaut (*Tunica interna bulbi*) mit ihrem lichtempfindlichen (*Pars optica retinae*) und ihrem nicht lichtempfindlichen (*Pars caeca retina*) Abschnitt, welche an der *Ora serrata* aneinander stoßen. Die äußere, mittlere und innere Augenhaut umschließen den Innenraum des Augapfels. Neben dem Glaskörperraum (*Camera vitrea bulbi*) existieren eine vordere (*Camera anterior bulbi*) und eine hintere Augenkammer (*Camera posterior bulbi*).

2.2 Die Retina

Die Retina entwickelt sich aus dem Innenblatt des embryonalen Augenbechers. Das dicke, mehrschichtige Innenblatt (*Stratum nervosum*) bildet zusammen mit dem einschichtigen, aus stark pigmentierten Epithelzellen bestehenden Außenblatt, (*Stratum pigmentosum*) die *Pars optica retinae*. Diese liegt der Choroidea mit einer feinen Basalmembran (Bruchsche Membran) auf. Das einfallende Licht trifft, nachdem es durch Kornea, Kammerwasser, Linse und Glaskörper getreten ist, in folgender Reihenfolge auf die drei eigenständigen, hintereinander angeordneten und untereinander verknüpften Neurone der Sehbahn:

III. Neuron:

- Ganglienzellschicht *Stratum ganglionare nervi optici* = multipolare Nerven
Zellschicht
- Nervenfaserschicht *Stratum neurofibrarum*

2 Literaturübersicht

II. Neuron:

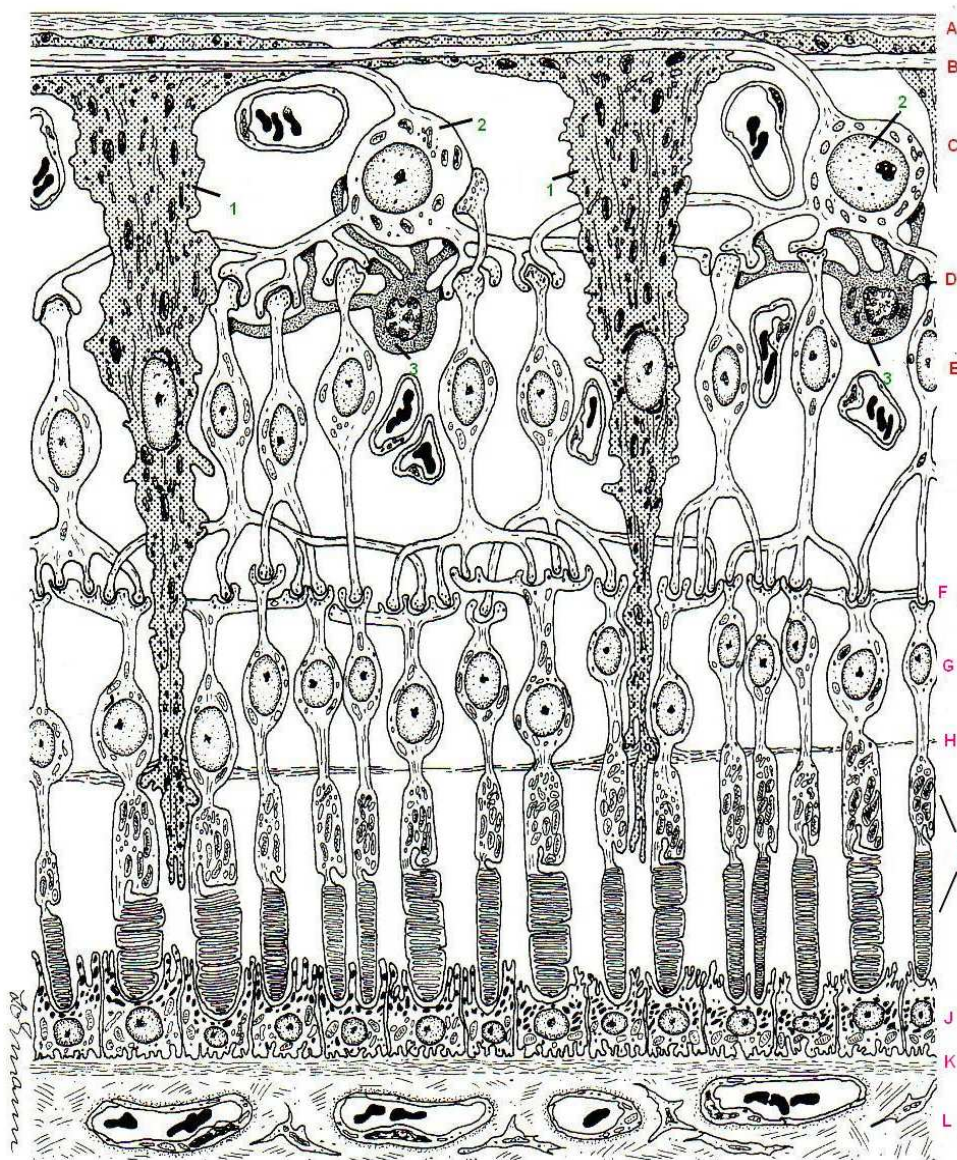
- Innere Körnerschicht *Stratum nucleare internum* = bipolare Nervenzellschicht
- Innere plexiforme Schicht *Stratum plexiforme internum*

I. Neuron:

- Stäbchen und Zapfen *Stratum neuroepitheliale*
- Äußere Körnerschicht *Stratum nucleare externum*
- Äußere plexiforme Schicht *Stratum plexiforme externum*

Es besteht eine Abnahme der Zellhäufigkeit von einer Zellschicht zur anderen, da sich das dichte Zellkernlager der äußeren über die innere bis hin zur Ganglienzellschicht verdünnt. An dem *Stratum nervosum* unterscheidet man ferner zehn Schichten, auf die in dem Kapitel 2.3 „Zelltypen der Retina“ genauer eingegangen wird. Dem *Stratum nervosum* liegt das *Stratum pigmentosum* peripher auf. Das Pigmentepithel entwickelt sich aus dem Außenblatt des embryonalen Augenbechers und ist zwischen der Bruch-Membran, der Aderhaut und den Außengliedern der Photorezeptoren eingebettet. Eine feste Verbindung zwischen dem retinalen Pigmentepithel und dem *Stratum nervosum* besteht distal im Bereich der *Ora Serata* und proximal an der Sehnervenscheibe. Durch die Zellen des Pigmentepithels reduziert sich die Lichtreflexion und gleichzeitig erhöhen sie das Auflösungsvermögen des Auges. Im Bereich des Tapetum lucidum fehlt meist die Pigmenteinlagerung.

2.3 Zelltypen der Retina



1 Müller-Stützzellen, 2 Ganglienzellen, 3 amakrine Zellen, A Stratum limitans internum, B Stratum neurofibrarum, C Stratum ganglionare n. optici, D Stratum plexiforme internum, E Stratum nucleare internum, F Stratum plexiforme externum, G Stratum nucleare externum, H Stratum limitans externum, I Stratum neuroepitheliale, J Stratum pigmentosum, K Bruchsche-Membran, L Choroidea

Abbildung 2: Histologischer Bau der Pars optica retinae und der Choroidea, modifiziert nach Liebich (1999)

2 Literaturübersicht

2.3.1 Photorezeptoren

Die Stäbchen- und Zapfenschicht stellt die lichtempfindliche Schicht der Retina dar. Sie unterscheiden sich in ihrer Funktion, Morphologie und Verteilung auf der Netzhaut. Die Zapfen sind für das Farbsehen verantwortlich. Die Stäbchen hingegen werden als hochsensible Rezeptoren für Helligkeit/Dunkelheit angesehen und ermöglichen das Sehen in der Dämmerung. Sehpigmente sind als Bestandteile in die Wand der Membranscheiben der Zellen eingelagert. Die Stäbchen enthalten das Sehpurpur Rhodopsin, die Zapfen den Farbstoff Jodopsin. Durch eine kontinuierliche Neubildung werden die älteren Scheiben immer weiter in die Peripherie geschoben, wo sie von den Pigmentzellen phagozytiert werden. Die äußerste Retinaschicht wird nur von den Außen- und Innengliedern der Rezeptoren gebildet. Die Zellkerne liegen hingegen in der äußeren Körnerschicht (*Stratum nucleare externum*), wobei sie sich in Größe und Form unterscheiden. Die Kerne der Zapfen erscheinen heller, größer und runder als die Kerne der Stäbchen. Die inneren Zellfortsätze der Zapfen reichen bis in die äußere plexiforme Schicht. Dort bilden die Fortsätze untereinander und mit anderen Neuriten (Bipolarzellen) Synapsen.

2.3.2 Bipolarzellen

Die rundlichen Zellkerne der bipolaren Zellen befinden sich mit den Perikarien der Horizontalzellen, Müllerschen Stützzellen und denen der amakrinen Zellen in der inneren Körnerschicht (*Stratum nucleare internum*). Kohler (1990) bezeichnete sie als Überbrückungszellen zwischen den beiden plexiformen Schichten.

2.3.3 Horizontalzellen

Diese Zellen sind an der Erregungsübertragung beteiligt. Die Ausläufer der in der inneren Körnerschicht liegenden Zellkerne reichen bis in die äußere plexiforme Schicht, wo sie mit den bipolaren, den horizontalen und den Rezeptorzellen in Kontakt stehen.

2.3.4 Amakrine Zellen

Amakrine Zellen stehen sowohl mit den Axonen der bipolaren Nervenzellen, als auch mit den Dendriten der Ganglienzellen in synaptischer Verbindung. Sie stellen Interneurone dar.

2 Literaturübersicht

2.3.5 Ganglienzellen

Die Ganglienzellschicht wird aus multipolaren, kleinen, vegetativen Nervenzellen gebildet. Mit ihren zum Sehnervenaustritt konzentrisch verlaufenden Nervenfaserbündeln bilden sie das *Stratum neurofibrarum*, in das auch die Astro- und Mikrogliazellen eingebettet sind.

2.3.6 Müllersche Stützzellen

Die Müllerschen Stützzellen, auch Gliazellen genannt, dienen mit Ausnahme der Photorezeptoren der nutritiven Versorgung aller nervösen Nezhautanteile. Ihre Fortsätze sind in allen Schichten der Netzhaut zu finden und treten an der *Zonula adherens* mit den Rezeptorzellen in Kontakt, wobei sie das *Stratum limitans externum* bilden.

2.4 Die Blutgefäßversorgung und Ernährung der Retina

Bei der retinalen Gefäßversorgung gibt es tierartspezifische Unterschiede. Das Pferd besitzt ein paurangiotisches, Hunde, Katzen, Wiederkäuer und Schweine ein holangiotisches, Kaninchen ein merangiotisches und Meerschweinchen ein anangiotisches System. Die aus der *A. maxillaris* entspringende *A. ophthalmica externa* stellt bei den Haussäugetieren die arterielle Blutgefäßversorgung der mittleren Augenhaut einschließlich des Ziliarkörpers und der Iris dar. Die *Aa. ciliares breves* sind Seitenäste der Arterie, die sie nach dem Durchtritt durch die *Area cribrosa* an die Sklera abgibt. Zusätzlich gehen beim Pferd Zweige an die Sehnerven und den blinden Fleck ab, wobei diese den so genannten *Circulus vasculosus n. optici* (Zinn-Plexus) ausbilden, aus dem sich auch die episkleralen Gefäße ableiten. Dem Pferd fehlen eine *A.* und *V. externa*. Die *Aa. ciliares posteriores longae* stellen Verzweigungen der *A. ophthalmica externa* dar und bilden mit den begleitenden Venen das Gefäßsystem der Choroidea. Im Vergleich zu der Bindehaut, die mit den *Aa. conjunctivales posteriores/anteriores* eine eigene Vaskularisation besitzt, bleibt die Hornhaut gefäßlos. Parallel zu dem arteriellen System verläuft das venöse Netzwerk. Der Kammerwasserabfluss erfolgt über den Venenplexus in die *Vv. ciliares anteriores* (König und Liebich 2002). Laut Simoens et al. (1996) gibt es bei Pferden und anderen Säugetieren keine zentrale Retinaarterie sondern Arteriolen, die den chorioretinalen Arterien entspringen.

2.5 Der Sehvorgang

Da mit der Elektroretinographie nur die Funktion und die Integrität der Netzhaut und nicht das eigentliche Sehvermögen der Patienten getestet werden kann, erfolgt zunächst eine kurze Beschreibung der gesamten Sehbahn und gesondert davon eine Darstellung der Prozesse, die sich nur innerhalb der Retina abspielen. Damit das Licht die ganz außen liegenden Photorezeptoren erreichen kann, muss es zuerst die ganze Retina durchqueren. Die Sehbahn wird in einen peripheren und einen zentralen Abschnitt geteilt. Der erste Anteil umfasst die retinalen Neurone, beginnend bei ihrem Austritt aus dem blinden Fleck in den knöchernen *Canalis orbitalis*, über die Sehnervenkreuzung der Schädelhöhle wo sie zum *Tractus opticus* werden, bis zum lateralen Kniehöcker (*Corpus geniculatum laterale*), der das primäre Sehzentrum darstellt. Dieses *Corpus geniculatum laterale* stellt einerseits die Schaltstelle zwischen Retina und Sehrinde und andererseits einen Teil der optischen Reflexbahn dar. Die zentrale Sehbahn setzt sich nun bis zur Sehrinde fort, wo Schalt- und Koordinationsaufgaben von den *Colliculi rostrales* übernommen werden. Im Okkzipitallappen verteilen sich die Endfasern fächerartig in der *Area optice seu stria*.

2.5.1 Sehvermögen des Pferdes

Die Augen liegen beim Pferd seitlich am Kopf und ermöglichen somit bei einem Gesichtsfeld von 330° fast einen Rundblick. Die lateral gerichteten Augenhöhlen (40°) ermöglichen ein relativ weit nach kaudal gerichtetes Sehfeld. Der Winkel zwischen den beiden Augenachsen beträgt beim Pferd ca. 90°, wodurch ein vorwiegend mononukleares Sehen ermöglicht wird. Da sich nur wenige Sehnervenfasern kreuzen (30 %), besitzt das Pferd auch nur eine geringe Fähigkeit für das räumliche Sehen. Hornhautnarben können das Sichtfeld kaum, das dreidimensionale Wahrnehmungsvermögen hingegen stark beeinträchtigen.

2.6 Das Abflusssystem des Kammerwassers am Pferdeauge

Smith et al. (1986) konnten die von früheren Autoren geäußerte Vermutung eines im Vergleich zu anderen Tierarten verstärkten uveoskleralen und uveokortikalen Abflusses bei Pferdeaugen mit ihren Untersuchungen untermauern. Samuelson et al. (1989) bekräftigten diese Aussagen mit ihren morphologischen Untersuchungen. Ihrer Meinung nach besteht das Abflusssystem aus einem Netzwerk, das zwischen dem Ziliarkörpermuskel und der darunter liegenden Sklera eingebettet liegt, sich nach posterior verjüngt und an der vordersten Region der Choroidea endet. Dieses suprazilliar gelegene Trabekelwerk deutet darauf hin, dass hier vermutlich ein erheblicher Teil des Kammerwassers abfließt. Smith et al. (1988) wiesen außerdem auf die klinische Relevanz des besonderen Abflusssystems in der Veterinärmedizin hin. Sie vermuteten, dass darin sowohl eine mögliche Ursache für das gehäufte Auftreten der inneren equinen rezidivierenden Uveitis als auch anderer Erkrankungen der hinteren Augenstrukturen liegen könnte. Die weite Ziliarspalte wird durch die starken Trabekel des *Ligamentum Pectinatum* sowie durch die inneren Anteile des Trabekelnetzwerkes unterstützt, wodurch ein Kollabieren des Ziliarkörpers fast unmöglich ist. Die Morphologie des equinen Iridokornealen Winkels erklärt das seltene Auftreten von an Glaukom erkrankten Pferden.

Nach Wagner (1991) entspringen an der skleranahen Seite der Gefäße des Kammerwasserplexus Sammelkanäle, die das Kammerwasser durch den unteren Teil der Sklera in den intraskleralen und episkleralen venösen Plexus leiten. Die durchschnittlich 100-150 [μm] dicken Sammelkanäle sind von einem teilweise mit Lücken versehenen, einschichtigen Epithel ausgekleidet und werden von einer bis zu 10 [μm] dicken fibrillären Schicht umhüllt, die sie vom fasrigen Gewebe der Sklera trennt. Der primäre Kammerwasserabfluss erfolgt beim Pferd über intrazytoplasmatische Vakuolen durch die Epithelzellen oder durch Öffnungen zwischen den Epithelzellen.

2.7 Entstehung und Zusammensetzung eines Elektroretinogramms

Eine Belichtung der Netzhaut löst eine kurzzeitige Störung des retinalen elektrischen Gleichgewichts (Ruhepotential) aus. Dieses breitet sich über den als Volumenleiter dienenden Auginhalt bis auf die Hornhaut und abgeschwächt bis auf die Lider aus. Granit unterteilte im Jahr 1993 das retinale Aktionspotential graphisch in die Komponenten PI, PII und PIII. Die

2 Literaturübersicht

heutige Einteilung in a-, b-, c- Wellenkomponenten entspricht ungefähr dieser Gliederung, wobei PIII als a-Welle, PII als b-Welle und PI als c-Welle interpretiert werden können. Durch den Lichtreiz erfolgt zuerst eine Aktivierung der Photorezeptoren, die sich im ERG als negative Potentialschwankung darstellt und als a-Welle bezeichnet wird (Niemeyer 1979b, Sims 1999). Bei Kleintieren ist diese Welle als Summenantwort der Photorezeptoren, Bipolarzellen sowie auch zu einem nicht unbedeutenden Teil als ein Komponent der inneren Netzhautanteile zu interpretieren. Ungefähr die erste Hälfte der negativen Amplitude wird als reine Photorezeptorantwort aufgefasst; an der Entstehung des weiteren Kurvenverlaufes sind vorwiegend die Bipolarzellen beteiligt. Über den genauen Entstehungsort der b-Welle wurde in der Vergangenheit viel diskutiert. Nach Niemeyer (1979) nimmt die positive b-Welle ihren Ursprung in der inneren Körnerschicht. Miller und Dowling (1970) sowie Proenza (1975) und Sims (1999) untersuchten die distalen und proximalen Anteile der Müllerschen Gliazellen als Entstehungsort der b-Welle. Die Müllerschen Gliazellen reagieren auf eine Verschiebung des extrazellulären Kaliumhaushaltes, der durch die so genannten „On-Bipolarzellen“ (Bipolarzellen, die durch die verstärkte Lichtintensität angeregt werden) ausgelöst wird. Die a-Welle wird laut Bush und Sieving (1994) von den Photorezeptoren und den so genannten Off-Bipolarzellen gebildet, während die b-Welle ihren Ursprung aus den On-Bipolarzellen und anderen post-synaptischen Rezeptorzellen nimmt. Eine Zusammenfassung aller bisherigen Erkenntnisse über den möglichen Entstehungsort der b-Welle ist bei Komaromy et al. 1998b nachzulesen. An die b-Welle schließt sich eine spät auftretende, positive c-Welle an, die von den Zellen des Pigmentepithels gebildet wird. Bei seinen Messungen im Jahr 1999 konnte Sims nur bei einem Drittel der untersuchten Hunde eine c-Welle registrieren, was wahrscheinlich an der langen Latenzzeit bis zum Erreichen dieser Welle gelegen hat.

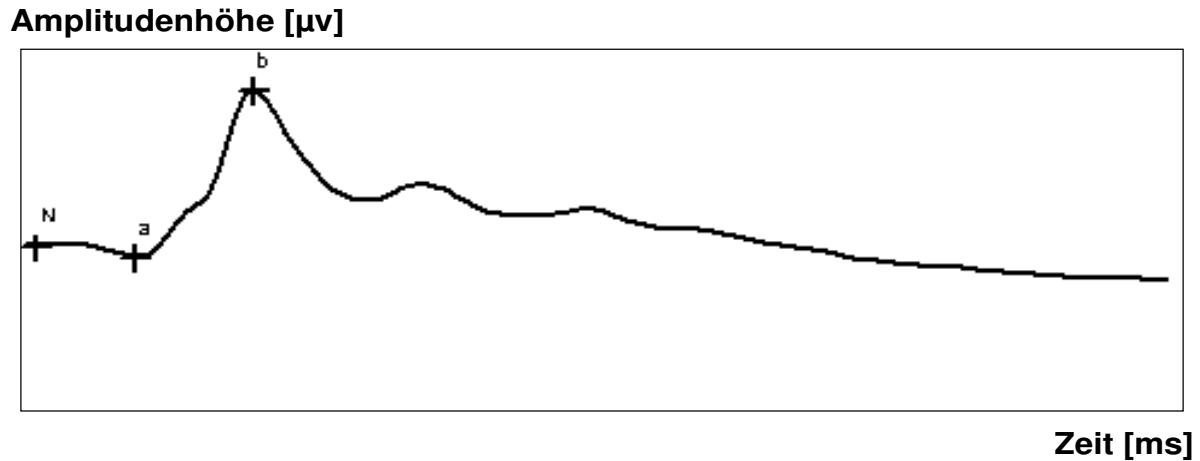


Abbildung 3: ERG-Kurve mit Nulllinie (N), Amplitudenmaximum der a-Welle (a) und b-Welle (b)

Weitere simultan ablaufende Aktivitäten der Retina lassen sich als frühes Rezeptorpotential, skotopisches Schwellenpotential, oszillatorische Potentiale und späte negative Potentiale (d-Welle) getrennt voneinander darstellen (Sims 1999). Über den genauen Entstehungsort der oszillatorischen Potentiale herrscht noch Unklarheit. Bei Primaten werden als Ursprungsort neben den Bipolarzellen auch die interplexiformen Zellen diskutiert. Mit der Ableitung der oszillatorischen Potentiale ist eine Beurteilung der inneren Netzhautanteile zwar möglich, eine genaue Zuteilung der einzelnen Gipfel zu den entsprechenden Schichten der Retina aber nicht realisierbar. In der Humanmedizin werden die oszillatorischen Potentiale als Indikatoren für den Durchblutungsgrad der Netzhaut und eine beginnende degenerative Erkrankung verwendet. Spiess und Leber-Zurcher (1992) konnten bei Messungen an Hunden die Vermutung einer Beteiligung der Ganglienzellen an der Genese nicht bestätigen, jedoch besitzen ihrer Meinung nach die Photorezeptoren einen Einfluss auf die Entstehung. Komaromy und Mitarbeiter (1998b) zeigten Möglichkeiten über Entstehungsort und Möglichkeiten der Interpretation oszillatorischer Potentiale auf.

2 Literaturübersicht

Die Dualität der Pferderetina mit einer Zapfenmehrheit konnten Woulters et al. (1980) in ihren Untersuchungen belegen, indem sie bei einer höheren Reizfrequenz zwei unterschiedliche Flickerfusionsraten erhielten. Sie ordneten die langsame, gleichmäßige Antwort bei geringer Lichtintensität und niedriger Fusionsgrenze den Stäbchen und die schnelle, gezackt erscheinende Antwort bei einer höheren Lichtintensität den Zapfen zu. Bei einer Messung mit einer Frequenz von 60 Hz konnten Francois et al (1980) ähnlich wie beim Menschen, eine Fusion der Zapfenantworten beobachten. Das Flicker-ERG setzt sich laut Kondo und Sieving (2001) aus der Antwort der Photorezeptoren (Hauptkomponente) und der Summenantworten der Zellen der inneren und mittleren Retinaschichten (Nebenkomponente) zusammen. Die Zapfenantwort allein bildet ihrer Meinung nach dagegen nur einen geringen Anteil an der Gesamtantwort eines physiologischen Flicker-ERG.

Neben einem photopischen ERG bei helladaptierter Retina kann auch ein skotopisches ERG bei dunkeladaptierter Netzhaut abgeleitet werden (Gouras 1970).

2.8 Wichtige Faktoren in der elektroretinographischen Messung

Die Art der verwendeten Lichtquelle, der Elektroden und des Verstärkers sowie die Dauer der Hell- oder Dunkeladaptation kann die Messwerte der Latenzzeit und der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des ERGs bei gesunden Tieren beeinflussen (Sims 1999). Form, Größe und zeitlicher Verlauf der b-Welle ändern sich charakteristisch mit Wellenlänge, Dauer, Intensität und Wiederholungsrate des Reizes. Neben dem Alter und dem Adaptationszustand spielen viele Faktoren bei der Erstellung eines ERGs eine Rolle, die nun im Einzelnen erläutert werden.

2.8.1 Beeinflussbare Faktoren

2.8.1.1 Hintergrundbeleuchtung

In den vorhandenen Standardprotokollen für Hunde und denen in der Humanmedizin wird für die Beleuchtungsintensität die SI Maßeinheit $\text{cd} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (Candela-Sekunden pro Quadratmeter) verwendet.

Man muss bei der Hintergrundbeleuchtung zwischen der Raumbelichtung, bei der der Patient über einen gewissen Zeitraum adaptiert wird und der Grundbeleuchtung der LED-Leuchte

2 Literaturübersicht

(ohne Lichtblitz) unterscheiden. Narfstrom et al. (2002) adaptierten die Hunde bei ihren photopischen ERG-Messungen 10 Minuten lang vor Messbeginn in einem Raum mit einer Umgebungsbeleuchtung von 30 - 40 $\text{cd}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, um einen stabilen Adaptationszustand der Netzhaut zu erhalten. Rottensteiner (2000) führe zuerst eine 10 minütige Präadaptation der Augen bei 40 Lux, gefolgt von einer Dunkeladaptation von 30 Minuten bei 0,6 Lux und nach Abschluss der skotopischen Messungen eine 10 minütige Helladaptation bei 750 Lux durch.

Über die Wahl der verschiedenen Beleuchtungsstärken für die Adaptationszustände des Pferdeauges sind unterschiedliche Angaben bekannt: Francois et al. (1980) gelang es erst bei einer Lichtintensität von 700 Lux, ein reines Zapfen-ERG abzuleiten. Für eine Differenzierung der Funktionalität der Retina bei Helladaptation mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken war eine Hintergrundbeleuchtung von 580 Lux ausreichend. Für ihre Messungen bei Helladaptation am Pferd wählten Komaromy et al. (2003) eine 5 minütige Hintergrundbeleuchtung von 30 $\text{cd}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.

2.8.1.2 Photostimulator und Lichtintensität bei Messungen unter Helladaptation

Für ein photopisches ERG benutzte Kooijman (1986) eine Ganzfeldbeleuchtungshalbkugel. Diese Halbkugel schloss mit dem knöchernen Orbitaring ab und diente so als ideale Lichtquelle. Er registrierte dabei eine gleichmäßige Beleuchtung aller optischen Medien und einen verminderten Einfluss der Pupillenweite auf die Messwerte. Kooijman (1986) fand heraus, dass eine fokale Lichtquelle lediglich einen Teil der Netzhaut direkt beleuchtete. Da die restliche Region nur indirekt bestrahlt wurde, zeigten sich im ERG niedrigere Werte. Aus diesem Grund war somit ein direkter Vergleich der Werte, die unter unterschiedlichen Beleuchtungsmethoden gewonnen wurden, nicht möglich. In einer weiteren Studie registrierte Kooijman (1986) bei Augen mit weitgestellter Pupille einen Randlichtabfall auf der Netzhaut, der durch eine schrittweise verringerte Illumination entsteht. Bei geringer Pupillenweite trat dieses Phänomen nur an einem kleinen, randständigen Bereich der beleuchteten Fläche auf. Messungen mit fokaler Lichtquelle ließen keinen Randlichtabfall erkennen. Dies begründete er mit der Aussage, dass hier das gesamte Licht von vorne auf die Netzhaut traf und die retinale Illumination vorwiegend von der Lichtstreuung und nur wenig von der Linsenart abhing.

Die Lichtquellenart kann die elektroretinographischen Messungen beeinflussen. Eine intensive, stark streuende, stroboskopische Lichtquelle regt viele Zellen der Netzhaut an, wodurch hohe Amplitudenwerten entstehen. Bei der Beurteilung des Funktionszustandes der Netzhaut

2 Literaturübersicht

muss der Betrachter diesen Aspekt berücksichtigen (Sims 1999). Werden stärkere Intensitäten der Lichtquelle verwendet verlängerte sich außerdem die Gipfelzeit.

Eine weiße Lichtquelle als Photostimulator wird als Standard angesehen, für spezielle Aufgabenstellungen können aber auch farbige Lichtquellen verwendet werden. Rottensteiner (2000) verwendete in ihren Messungen eine Xenonlampe (Weißlichtblitz) als Photostimulator. Sie führte ihre Messungen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten ($30 \text{ cd}^*/\text{m}^2$ und $566 \text{ cd}^*/\text{m}^2$) bei einer Blitzfrequenz von 1,3 Hz durch. Für die Ableitung unter photopischen Bedingungen bei Pferden wählten Komaromy et al. (2003) bei ihren photopischen Messungen als Lichtquelle ein Xenon Stroboskop (Weißlichtblitz). Sie variierten die Lichtintensitäten von $0,03 - 3 \text{ cd}^*/\text{m}^2$ wobei sie bei der Zapfendominierten Antwort und bei der Flickerantwort mit einer Intensität von $3 \text{ cd}^*/\text{m}^2$ arbeiteten.

Für einen Vergleich von Elektroretinogrammen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten und bei unterschiedlichen Tieren abgeleitet wurden, ist eine Überprüfung und Anpassung auf eine gewählte Lichtintensität unumgänglich.

2.8.1.3 Photostimulator und Lichtintensität bei Messungen unter Dunkeladaptation

Komaromy et al. (2003) beobachtete neben einer starken Amplitudensteigerung, eine Verlängerung der Latenz der b-Welle bei längerer Dunkeladaptationszeit. Nach Yanase et al. (1995) stellen die Zunahme der Amplitudenhöhe und eine Verlängerung der Gipfelzeiten der b-Welle Zeichen für die Dunkeladaptation der Netzhaut dar.

Bei Wouters et al. (1980) erreichte die b-Welle erst nach einer 30-minütigen Dunkeladaptation ein Niveau. Die Autoren behaupten, dass die Dunkeladaptation der Netzhaut jedoch über diesen Zeitraum hinweg fortgesetzt wird. Komaromy et al. (2003) sehen in ihrem Messprotokoll mit einer 20-minütigen Adaptationsphase einen guten Kompromiss zu Wouters (1980) Protokoll, da es ihrer Meinung nach unpraktikabel ist, ein Pferd für wissenschaftliche Tests länger als 30 Minuten zu sedieren. Des Weiteren konnten Wouters et al. (1980) eine Verdoppelung der Gipfelzeiten nach 30-minütigen Dunkeladaptationszeit feststellen. Komaromy et al. (2003) beschreiben einen ähnlichen Verlauf bei einer 20-minütigen Adaptationsphase.

2 Literaturübersicht

2.8.1.4 Pupillenöffnung

Eine generelle Aussage über den Grad der Beeinflussung der Pupillenweite auf die Messergebnisse ist nur unter Vorbehalt zu stellen, da das Licht zum Teil im Auge reflektiert und gestreut wird. Bei Menschen hat die Pupillenweite auf das ERG einen doppelten Einfluss: Zum einen wirkt sie als Helligkeitsregelnde Appaturblende, zum anderen auch als winkelbegrenzende Bildfeldblende, was vor allem bei der Ganzfeldbeleuchtung bedeutsam ist. Bei Messungen mit Ganzfeldbeleuchtung und weiter Pupille konnten die Autoren bei zunehmender Leuchtdichte eine Erhöhung der Amplituden und eine Verkürzung der Latenzen der a- und b-Wellen erkennen. Dieser Effekt konnte auch bei enger Pupille beobachtet werden, allerdings wurden für vergleichbare Amplituden höhere Leuchtdichten benötigt. Sie schlossen daraus, dass der Einfluss der Pupillenweite bei elektroretinographischen Ableitungen von der Art der gewählten Beleuchtung der Netzhaut (Ganzfeld oder hinterer Pol) und der registrierten elektrischen Antwort (skotopische oder photopische Potentiale) abhing. Im Vergleich zu der Ganzfeldbeleuchtung wird bei der Teilbeleuchtung der Retina die Menge der angeregten Photorezeptoren kaum von der Pupillenweite beeinflusst. Der beschriebene Effekt bei Ganzfeldbeleuchtung wirkt sich vorwiegend auf die Amplituden, nicht aber auf die Latenzen aus. Bei Patienten, deren Werte im unteren Referenzbereich liegen, kann dieser Einfluss auf die Amplituden zu einer Fehlinterpretation führen. Hoffman et al. (1978) bemerkten einen geringen Unterschied in der Steigerung der Antwortkurven und ihrem Maximum bei enger und bei weiter Pupille. Sie begründeten dies damit, dass die Bildfeldeinengung für den Zapfenapparat eine geringere Rolle spielt als für den Stäbchenapparat. Sie wiesen darauf hin, dass aufgrund der Aperturwirkung der Pupille und der dadurch verminderten Lichtstärke das miotisierte Auge weniger helladaptiert war. Dieser Effekt sollte bei der Bewertung der Messergebnisse beachtet werden.

Um einen Adaptationswechsel der Pupille und Bewegungsartefakte während den Messungen zu verhindern, sollte vor den Messungen die Pupille medikamentös weitgestellt werden (Rubin 1967; Gouras 1970; Hoffman et al. 1978b). Um die retinale Beleuchtung, also die Lichtenergie, die auf die hinteren Augenabschnitte fällt abschätzen zu können, sollte die Pupillenöffnung bei den Messungen vermerkt werden. Durch die Anwendung der Troland-Einheit wird der Pupillendurchmesser berücksichtigt. Um eine gleichmäßige Netzhautbeleuchtung zu erreichen, kann entweder eine Ulbrichtkugel wie in der Humanmedizin, oder eine Kontaktlinselektrode mit einer Brechkraft von +100 dpt verwendet werden. Spiess (1994) konnte in seinen Versuchen keinen Unterschied zu einer ungeschliffenen Kontaktlinse feststellen.

2 Literaturübersicht

2.8.1.5 Elektroden

Zur elektroretinographischen Messung stehen verschiedene Elektrodentypen zur Verfügung. Der Anwender sollte bei der Auswahl Faktoren wie Kosten, Traumatisierungsrisiko der Hornhaut, Sicherheit, Präzision, Passform und Benutzerfreundlichkeit beachten. Korrosion und Schmutz an den Elektroden können die Ergebnisse beeinflussen, weshalb eine Überprüfung der Elektroden vor Messbeginn besonders wichtig ist. Bei der Wahl der Elektroden sollten auch Aspekte wie Stabilität der Nulllinie, Signal-Rausch-Verhältnis und Variabilität der Messungen beachtet werden.

2.8.1.6 Aktive Elektrode

Üblicherweise wird in den Kliniken das ERG von der Hornhaut abgeleitet. Kontaktlinselektroden werden in der Tiermedizin sehr häufig angewendet, da sie nicht traumatisierend sind und damit verlässliche und reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können. Die Kontaktlinselektrode ist dabei stets die aktive Elektrode. Witzel et al. (1976) erhielten bei Messungen mit dieser Elektrodenart deutlich höhere Amplituden als bei Messungen mit subdermalen Nadelelektroden und es traten kaum Bewegungsartefakte auf. Zwischen Kontaktlinselektroden gibt es Unterschiede in Amplitudenhöhe und Benutzerfreundlichkeit. Kooijman (1986) untersuchte die Eignung verschiedener Kontaktlinselektroden für eine ERG-Messung bei Ganzfeldbeleuchtung und ordnete sie gemäß ihrer Tauglichkeit in drei Untergruppen ein. Mit der Elektrode nach Kooijman-Damhof und der Burian-Allen-Kontaktlinse, welche einen großen Durchmesser besitzen und die mit einer eingebauten LED-Leuchte ausgestattet sind, erreichte Kooijman eine fast homogene Netzhautbeleuchtung. Dabei stellte er fest, dass die Lichtstreuung nur zu einem geringen Grad von dem Pupillendurchmesser beeinflusst wird. Für eine einfache Ganzfeldaufnahme ist die Anwendung einer Elektrode, die in Kontakt zur Hornhaut oder der bulbären Konjunktiva steht, sehr zu empfehlen. Kontaktlinselektroden erfordern einerseits den Einsatz eines Oberflächenanästhetikums, schützen aber andererseits das Auge.

Die Henkeselektrode, mit der Ableitungen beim Menschen vorgenommen werden, eignet sich laut Rottensteiner (2000) nicht für den Einsatz am Pferd, da aufgrund der Elektrodengröße eine ständige Berührung der Wimpern und somit ein Lidschluss ausgelöst wird. Reitenauer (1993) und Rottensteiner (2000) verwendeten für ihre Messungen kleine und flache Elektroden (Polycarbonat-Linsen zum Aufsetzen auf die Hornhaut mit einer ringförmigen Goldbeschichtung), die auch in der Humanmedizin ihren Einsatz finden. Kooijman hingegen emp-

2 Literaturübersicht

fehlt bei einer Ganzfeldstimulation die Anwendung eines Lidhalters und einer Kontaktlinse aus lichtstreuendem oder durchsichtigem Material mit einem Mindestdurchmesser von 12 mm.

2.8.1.7 Referenzelektrode

Als Referenzelektroden können entweder Nadelelektroden oder Oberflächenelektroden aus unterschiedlichen Materialien wie rostfreiem Stahl, Platin usw. verwendet werden. In der Veterinärmedizin kommen Kontaktelektroden kaum zum Einsatz, da für einen guten Kontakt eine aufwendige und teilweise großflächige Hautvorbereitung notwendig ist.

2.8.1.8 Elektrodenplatzierung

Die Referenzelektrode kann entweder als bipolare Elektrode in die Kontaktlinse integriert sein (stabilste elektronische Konfiguration) oder temporal des orbitalen Ringes an dem entsprechenden Auge platziert werden. Eine typische Position für die Erdungselektrode am Menschen stellt die Stirn oder das Ohr des Patienten dar. Bei Kleintieren wird sie entweder subkutan am temporären Augenwinkel oder auf Höhe des oberen Caninus zwischen Oberkiefer und Leftzenschleimhaut angebracht. Mentzer et al. (2005) konnten bei einer Studie mit Hunden Unterschiede zwischen verschiedenen Referenzelektrodentypen sowie bei unterschiedlicher Platzierung feststellen. Je weiter sie die Referenzelektrode, von dem lateralen Augenwinkel aus gemessen, nach kaudal setzten, umso deutlicher zeigte sich eine Größenzunahme der a- und b-Wellen Amplitude ($5\text{ cm} > 3\text{ cm} > 1\text{ cm}$). Die gewonnenen Werte wurden dadurch abgewandelt, weshalb sich die Autoren gegen einen Vergleich von Ergebnissen, die mit unterschiedlichen Methoden erstellt wurden, aussprachen. Des Weiteren empfahlen die Autoren eine Standardisierung in Bezug auf die verwendete Elektrodenart und die gewählte Platzierung.

Matz et al. (1993) platzierte die Referenzelektrode beim Pferd subkutan auf Höhe der Verbindungslinie beider Augen und die Erdungselektrode im Hinterhauptbereich. Komaromy et al. (2003) platzierten die Referenzelektrode bei Pferden subkutan ca. 3 cm neben dem lateralen Kanthus. Brooks (1999) platzierte die Elektroden bei seinen Messungen am Pferd wie auf folgender Abbildung:



Abbildung 4: Positionierung der Elektroden für die elektroretinographische Ableitung beim Pferd, modifiziert nach Brooks (1999): Kontaktlinselektrode auf der Hornhaut, Referenzelektrode am lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges und Erdungselektrode subkutan ca. 1 cm entfernt vom Scheitelpunkt des Kopfes

Rottensteiner (2000) positionierte die Referenzelektrode subkutan in das Unterlid des zu untersuchenden Auges. Mit dieser Platzierung zeigten die Pferde kaum Abwehrbewegungen, wodurch weniger Artefakte auftraten, und die Nadelelektrode im Vergleich zu der Positionierung im mobileren Oberlid besser in ihrer Position gehalten wurde.

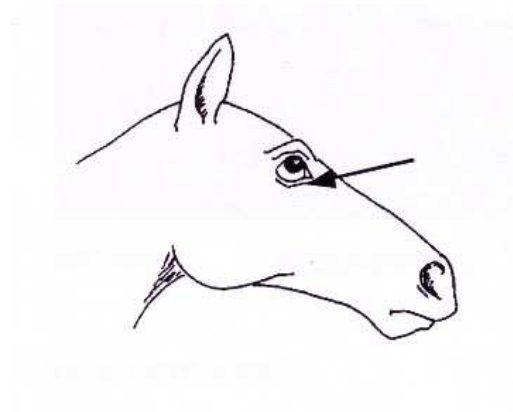


Abbildung 5: Position der Referenzelektrode modifiziert nach Rottensteiner (2000): die Referenzelektrode wurde mit ca. 0,5 cm Abstand zu der Wimpernreihe im Unterlid platziert; es wurde dabei am Übergang vom nasalen zum mittleren Drittel eingestochen und die Nadel bis zum Konus subkutan vorgeschoben

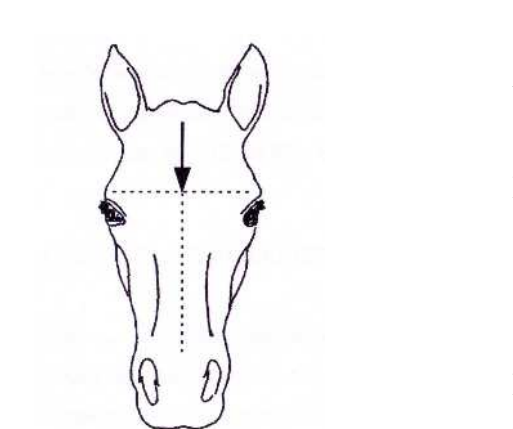


Abbildung 6: Position der Erdungselektrode, modifiziert nach Rottensteiner (2000): der Schnittpunkt der Medianen mit der Verbindungslinie zwischen den beiden Foramina supraorbitales

Für die Platzierung der Erdungselektrode sind beim Pferd bisher mehrere Angaben in der Literatur bekannt. Während Rottensteiner (2000) die Elektrode subkutan in der Medianen der Verbin-

2 Literaturübersicht

ungslinie der beiden *Foramina supraorbitale* platzierte, wählten Komáromy et al. (2003) die Stelle über dem Okkzipitalknochen aus.

Brooks (1999) konnte bei Pferden auch visuell evozierte Potentiale ableiten, indem er folgende Elektrodenplatzierung wählte: aktive Elektrode (positive Elektrode) in der Mitte des Nackenkammes, Referenzelektrode (negative Elektrode) auf einer gedachten Verbindungslinie zwischen den beiden Augen und Erdungselektrode ca. 1 cm vom Scheitelpunkt des Schädels entfernt.

2.8.1.9 Kontaktgel

Sims (1999) empfiehlt für die elektroretinographischen Messungen ein leitfähiges Kontaktmedium wie z.B. ionisches Methylcellulosegel anzuwenden, um einen guten elektrischen Kontakt zwischen aktiver Elektrode und Hornhaut zu erhalten. Matz et al. (1993) verwendeten für ihre Untersuchung ein Elektrolyt-Gel. Serrato et al. (2003) konnten bei verschiedenen Methylcellulose-Gelen Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit und der Latenzzeit feststellen. Gele mit einer niedrigeren Konzentration wiesen im Vergleich zu höher konzentrierten eine Amplitudenreduktion auf. Bei den elektroretinographischen Untersuchungen sollte deshalb stets mit demselben Kontaktgel gearbeitet werden, da es sonst beim Wechsel des Präparates zu Veränderungen der ERG Kurven kommen könnte. Kooijman (1987) wies darauf hin, dass eine dicke Schicht Kontaktgel die Impedanz zwischen der Kontaktlinse und der Referenzelektrode und somit auch die Amplitudenhöhe verringern kann. Auch er stimmte mit Serrato (2003) überein, dass bei einer Studie nur ein Kontaktgel benutzt werden sollte. Um einen guten Kontakt zwischen Tier und Elektrode zu erhalten, sollte eine ausreichende Menge an ionischem Kontaktgel unter Vermeidung von Lufteinschlüssen auf die aktive Elektrode aufgetragen werden. Präparate mit einer zu hohen Viskosität (> 0,5 % Methylcellulose) können die Messungen beeinflussen.

2.8.1.10 Medikamente

Begleitend zu einer Behandlung mit systemischer oder lokaler Steroidtherapie konnten Zimmerman et al. eine Erhöhung der b-Wellenamplitude des ERGS beobachten. Niemeyer (1998) wies darauf hin, dass bei der Interpretation solcher Kurven größere Netzhautschäden wie sie z.B. bei Uveitispatienten auftreten, leicht übersehen werden können.

2 Literaturübersicht

2.8.1.11 Körpertemperatur

Das murine ERG reagiert sehr sensibel auf Temperaturschwankungen. Deshalb ist eine Überwachung und Aufzeichnung der Körpertemperatur anzuraten. Spiess (1994) stellte bei seinen Untersuchungen einen positiven Zusammenhang zwischen Temperaturerhöhung und Amplitudenhöhe fest, weshalb er zum Einsatz eines Wärmekissens bei der elektroretinographischen Untersuchung von Kleintieren rät.

2.8.1.12 Anästhesie

Anästhetika besitzen einen negativen Effekt auf die Aktivität der inneren Netzhautschichten. Yanase und Ogawa (1977) konnten eine b-Wellenreduktion durch Halothan und Sevofluran beobachten, weshalb sie von einer elektroretinographischen Messung während einer solchen Narkose abraten. Laut Spiess (1994) haben alle gängigen Narkosemittel einen Effekt auf das ERG. Um Zwangsmaßnahmen zur Fixation beim Hund zu umgehen rät der Autor dennoch zur Durchführung der Messungen beim Kleintier unter Allgemeinnarkose. Kommomen et al. (1987) konnten bei ihren Messungen an gesunden Hunden keinen bedeutenden Einfluss von Xylazin und Ketamin auf die Amplitudenhöhe des ERGs feststellen. Der negative Effekt der Narkosegase auf die Amplitudenhöhe spricht für eine ambulante Messung unter Sedation. Aufgrund der erheblichen Nachteile der Allgemeinanästhesie beim Pferd, wie hohe finanzielle Kosten, erhöhte Verletzungsgefahr vor allem in der Aufstehphase und Schwierigkeiten bei der Umlagerung bei Messungen beider Augen, bietet sich die elektroretinographische Messung am stehenden, sedierten Pferd an.

2.8.1.13 Sonstige Einflussfaktoren

Elektrische Geräte, die sich im selben Raum befinden und benutzt werden, können eine Ursache für Störströmungen sein und sollten deshalb ausgeschaltet werden. Viele biologische Signale liegen in dem Bereich von 50 - 60 Hz und können deshalb von elektrischen Strömungen aus Starkstromleitungen überlagert werden. Komáromy et al. (2002) raten deshalb dazu, Messungen nicht in unmittelbarer Nähe von Stromleitungen in der Wand durchzuführen.

2 Literaturübersicht

2.8.2 Nicht beeinflussbare Faktoren

2.8.2.1 Medientrübenungen

Eine genaue und ausführliche Interpretation von ERG-Kurven bei Augen mit getrübbten optischen Medien sollte nur unter Vorbehalt erfolgen, da es schwierig ist, die Lichtabschwächung oder Auslöschung durch diese Opazitäten mit einer entsprechend höheren Lichtintensität zu kompensieren.

2.8.2.2 Trübungen und Einlagerungen des Glaskörpers

Eine Abnahme des retinalen Bio- und Gesamtpotentials bei Fällen von Retinitis pigmentosa, optischen Medientrübenungen und Netzhautablösungen beschreibt nicht immer die noch vorhandene Restsehfähigkeit. Bei Patienten mit Medientrübenungen sollte der elektrische Schwellenwert gemessen werden, um das vorhandene periphere Sehvermögen und den Grad einer Netzhautablösung beurteilen zu können. Für die Abklärung, ob sich hinter opaken Medien (Glaskörper; Linse) eine für den Untersucher nicht sichtbare Netzhautablösung befindet, genügt eine einfache und nicht sehr aufwändige Untersuchung, da in diesen Fällen das ERG ausgelöscht ist.

Medientrübenungen können eine abgeschwächte ERG-Antwort verursachen. Durch die Anwendung eines Lichtblitzes mit einer hohen Lichtintensität (*brigth flash Technik*) können Glaskörperopazitäten generell überwunden werden, da dann eine deutlichere Darstellung dieser verringerten Kurven möglich ist. Zusätzlich ist durch Aufspaltung der Werte (*signal averaging*) eine genauere Ableitmethode möglich. Ein ausgelöschtes ERG, das mit einem solchen starken Lichtblitz abgeleitet wurde, lässt den Verdacht auf eine schwere Netzhautschädigung zu.

Hochgradige Glaskörperblutungen können das stimulierende Licht fast vollständig absorbieren, da die Netzhaut infolgedessen nicht beleuchtet wird.

2.8.2.3 Trübungen der und Einlagerungen in die Linse

Eine Katarakt hat auf ein ERG eine Filterfunktion, da die getrübe Linse die Lichtstrahlen bei der Netzhautbeleuchtung abschwächt. Rubin et al. (1967b) behaupten hingegen, dass eine Katarakt nicht immer eine Abschwächung oder Elimination eines abgeleiteten ERGs bewirkt. Ihrer Meinung nach bewirkt die Linse eine starke Lichtbrechung und Streuung, woraus eine stärkere Illumination der peripheren Netzhautareale und eine Erhöhung der Amplituden der a-

2 Literaturübersicht

und b-Welle resultieren kann. Die relativen Magnituden der a- und b-Welle sind von der verwendeten Lichtintensität abhängig. Liegt bei dem jeweiligen Auge nur eine Katarakt vor, sollte die ERG-Kurve mit der eines gesunden Auges (bei dem Standard-Lichtstimulus) vergleichbar sein. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass eine Katarakt funktionell äquivalent (mit einem bestimmten Faktor) zu einer Reduktion der Netzhautbeleuchtung ist. Eine so genannte „weiße, flockige Katarakt“, welche eine Funduseinsicht verhindert, kann das Licht effektiv (bei nur geringer Abschwächung) streuen. Dies resultiert in einem, im Vergleich mit einem gesunden Auge, normalen ERG. Hingegen kann eine „bräunliche Katarakt“ soviel Licht absorbieren, dass es zu einer Auslöschung der ERG-Kurve bei der verwendeten Standard-Lichtintensität kommen kann. Bei der Verwendung von einer sehr hohen Lichtintensität bei den Messungen können Glaskörperopazitäten, wie eine Katarakt übergangen werden. Eine komplette Auslöschung des ERGs bei Standardmessbedingungen und bei Messungen mit einer sehr hohen Lichtintensität kann somit auf eine schwere Netzhautschädigung hinweisen.

2.8.2.4 Intraokularer Druck

Eine Reduzierung der b-Welle kann durch einen erhöhten intraokularen Druck ausgelöst werden. Enorme Druckerhöhungen, die länger als 60 Minuten anhalten, bewirken irreversible Veränderungen. Es ist umstritten, ob die Ursache in der direkten Druckeinwirkung auf die generierenden Zellen oder in den Verengungen der retinalen Gefäße mit einer anschließenden Ischämie als Ursache liegt. Bartl (1978) führte ophthalmologische und elektrophysiologische Untersuchungen der inneren Augenstrukturen bei Menschen durch, um Veränderungen, die durch ein Glaukom ausgelöst werden, elektroophthalmologisch aufzudecken und beurteilen zu können. Er stellte neben einer funktionellen Abnahme aller Nervenstrukturen des inneren Auges vor allem eine Schädigung der vorderen Abschnitte des Nervus opticus fest, die seiner Meinung nach auf ihrer erhöhten Sensibilität gegenüber Druckschwankungen beruht. Eine experimentelle Druckerhöhung wurde sowohl bei den gesunden, als auch bei Augen, die an einem Glaukom erkrankt waren, durchgeführt. Der Autor konnte bei den erkrankten Augen eine Verminderung der Amplitudenhöhe und eine Verlängerung der Gipfelzeiten feststellen, wobei alle Werte noch innerhalb der normalen Streubreite lagen. Des Weiteren bemerkte Bartl (1978) dass alle erkrankten Augen das gleiche Lichtreizverhalten (Amplitudenzunahme und Gipfelzeitenabnahme bei zunehmender Helligkeit) wie das der gesunden Vergleichsaugen aufzeigten.

2 Literaturübersicht

2.8.2.5 Tageszeitliche Schwankungen

Ebenso wie die Inter-Stimulus Intervalle haben die tageszeitlichen Schwankungen einen vom Untersucher nicht beeinflussbaren Effekt auf die Qualität des ERGs. Die b-Welle zeigt je nach Tageszeit zyklische Schwankungen. Marcus und Cabael (2004) konnten in ihren Untersuchungen am Menschen nur geringe circadiane Schwankungen bei den ERG-Messungen beobachten. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Tageszeit bei dem routinemäßig abgeleiteten ERG zwar notiert werden sollte, ihr Einfluss aber eher zu vernachlässigen ist. Die b-Welle, bei unterschiedlichen Lichtintensitäten gemessen, wird nur phasenweise von dem Tagesrhythmus beeinflusst (Brandenburg et al. 1983). Die Autoren konnten bei der Ableitung photopischer ERGs eine höhere Sensitivität während der Nacht als am Tage feststellen. Dieses Phänomen trat allerdings nicht bei Messungen in Dunkeladaptation auf. Eine mögliche Begründung könnte in dem wechselnden Einfluss sympathischer Nervenfasern auf die Augenstrukturen liegen. Tuunainen et al. (2001) konnten weder für die Latenz, noch für die Amplitude der a-Welle einen statistisch signifikanten circadianen Rhythmus erkennen. Bei der b-Wellen Latenz registrierten sie einen Höhepunkt am frühen Morgen. In ihrer Studie konnten sie mehrere tageszeitliche Unterschiede bei elektrophysiologischen und psychophysischen Messungen der Retina an gesunden Patienten feststellen. Im Vergleich tritt bei dem retinalen Rhythmus ein geringeres Signal-Rausch-Verhältnis als bei dem Temperatur- Rhythmus auf, weshalb diese Messungen nach Meinung der Autoren nicht als Tageszeitenmarker eingesetzt werden sollten. Auch wenn nur eine geringe Beeinflussung der Ergebnisse durch den circadianen Rhythmus zu erwarten ist, sollte der Zeitpunkt der Messung stets dokumentiert werden.

2.8.2.6 Alter

Der alternde Mensch zeigt eine verminderte Anzahl an Zapfen und Stäbchen, was eine Verlängerung der Latenzzeiten und eine Reduktion der b-Wellenamplitude bedingt. Bei Hunden kann man in den ersten Lebenswochen nur unvollständige elektrophysiologische Reaktionen der Netzhaut messen, die sich bis zur achten Lebenswochen zu einem kompletten ERG entwickeln. Mit zunehmendem Alter kommt es bei Mäusen zu einer Reduktion der Amplitudenhöhe im ERG. Allerdings sehen die Autoren keinen Zusammenhang zwischen den erniedrigten Werten und der strukturellen Integrität der Photorezeptoren der Netzhaut. Reitenauer (1993) konnte während ihren Untersuchungen keinen Unterschied in Latenz oder Amplitudenhöhe zwischen dem ERG eines neugeborenen Fohlens und dem eines adulten Pferden nachweisen.

2 Literaturübersicht

2.8.2.7 Rasse

Bei verschiedenen Hunderassen treten Unterschiede bei den Messergebnissen auf, weshalb ein Vergleich von caninen ERGs untereinander nur innerhalb einer Rasse und einer Altersgruppe erstellt werden sollte. Reitenauer (1993) konnte keinen Unterschied bei Pferden unterschiedlicher Rasse bei elektroretinographischen Messungen beobachten.

2.8.2.8 Blutdruck

Schwankungen des Blutdruckes spiegeln sich im ERG als erstes in einer Veränderung der c-Welle wieder. Die c-Welle ist ein sensibler Indikator für Blutdruckveränderungen, da hier die Veränderungen gleichsinnig ablaufen. Die b-Welle wird erst bei Blutdruckwerten unter 55 mmHg beeinflusst. Der Autoregulationsmechanismus der Retina hält die Blutversorgung auch bei niedrigen Werten aufrecht.

2.9 Beurteilung der Messungen

Begleitend zu jeder Messung sollte die Messzeit, der Pupillendurchmesser und Besonderheiten bei den Messbedingungen, welche nicht dem Standard entsprechen (Sedierung, Elektrodenart- und Platzierung) berücksichtigt und notiert werden..

Zur Interpretation eines ERGs sollten neben den Amplitudenhöhen der a- und b-Welle auch die Latenz- und Gipfelzeit betrachtet werden. Mit der Latenzzeit misst man die Zeitspanne zwischen Start des Lichtstimulus und messbarer Reaktion auf diesen, die Gipfelzeit misst dagegen die Zeit bis zum Erreichen der Amplitudenmaxima. Bereits 1979 wies Niemeyer auf die Notwendigkeit hin, für jedes Labor eigene Normwerte (und Standardabweichungen) für die Beurteilung von ERGs zu erstellen. Gouras (1970) konnte bei großen chorioretinalen Narben und anderen Läsionen der Netzhaut im ERG eine reduzierte Amplitudenhöhe und eine Verlängerung der Latenzzeit feststellen. Bei kleineren, fokalen Schäden bemerkte er nur eine Reduktion der Amplitudenhöhe bei unveränderter Latenzzeit. Acland (1988) stellte fest, dass bei Tieren, die klinisch als blind eingestuft wurden, ein unverändertes ERG abgeleitet werden kann, wenn die Erkrankungsursache in den weiter proximal gelegenen Anteilen der Sehbahn und nicht in den beiden äußeren Schichten der Netzhaut liegt. Die Elektroretinographie kann seiner Meinung nach somit zur Unterscheidung zwischen peripherer und zentraler Blindheit

2 Literaturübersicht

beitragen. Umgekehrt kann eine Restsehfähigkeit bei erloschenem ERG vorhanden sein, da die sensorische Schwelle der Retina unter der des sensiblen ERGs liegt.

Da die Reizfrequenz bei 30 Hz von den Stäbchen kaum noch aufgelöst werden kann, ist diese Messung als eine reine Zapfenantwort aufzufassen. Dabei werden die Amplituden vorwiegend von der b-Welle und kaum von der a-Welle beeinflusst. Dies ist von Bedeutung, da bei einer evtl. auftretenden Amplitudenreaktion bei fehlender Nulllinie keine genaue Zuordnung von a,- und b-Welle erfolgen kann. Bei der reinen Zapfenantwort (1,3 Hz) kann man hingegen klar zwischen der a- und der b-Welle differenzieren. Die equine Netzhaut besitzt deutlich mehr Stäbchen als Zapfen und es fehlt eine zapfenreiche Makulazone. Bei dem Dunkeladaptations-ERG dominiert somit die Stäbchenantwort. Bei ausreichend hoher Lichtintensität können die Stäbchen keine weiteren Photonen mehr aufnehmen, weshalb bei diesen elektroretinographischen Messungen die Kurve als reine Zapfenantwort zu interpretieren ist. Niemeyer (1999) stellte beim Menschen fest, dass der Grad einer Gesichtsfeldveränderung, wie sie bei tapetoretinalen Degenerationen auftreten, nicht gut mit der Verkleinerung der ERG-Amplitude korreliert. Dies erklärt er damit, dass für die Perzeption des ERGs eine ganz andere Summation, Konvergenz und Integration nötig ist, als für die Generation des ERG. Anhand wiederholter Stimuli oder Flickerstimulus mit verschiedenen Frequenzen, unterschiedlichen Adaptationszuständen der Augen und variierbaren Lichtintensitäten ist eine getrennte Evaluierung des Stäbchen- und des Zapfensystems möglich. Mithilfe der Flickerfusionsgrenze kann eine Netzhautdegeneration aufgedeckt werden.

Die „International Society for Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV)“ empfiehlt für die Humanmedizin einen Standard für die Durchführung von elektroretinographischen Messungen. Dabei wird bei der Beurteilung von Werten, die bei gesunden Augen erstellt wurden, nicht von einer Gaußschen Normalverteilung ausgegangen, weshalb mit Perzentilen anstatt mit dem arithmetischen Mittel gearbeitet wird. Als relevantes Maß werden die 5. und die 95. Perzentilen berechnet, wobei generell eine hohe Probandenzahl angestrebt werden sollte. Der errechnete a/b-Quotient stellt einen guten Parameter zur Interpretation der Ergebnisse dar. Die Autoren der „Richtlinien für die Durchführung eines klinischen ERGs bei Hunden“ empfehlen ebenfalls, Messergebnisse mit Referenzwerten zu vergleichen, die bei Hunden gleicher Rasse und gleichen Alters angefertigt wurden und als Vergleichsparameter den Median und die 5. und 95. Perzentil zu berechnen.

2.10 Grenzen der Elektroretinographie

Mit einem ERG kann der Funktionszustand der Netzhaut überprüft werden. Wenn vorberichtlich der Verdacht auf eine zentrale Sehschädigung geäußert wurde, und das ERG keine Abweichungen von der Norm aufzeigt, kann mittels weiterführenden Untersuchungen eine zentrale Sehnervenschädigung aufgedeckt werden. Niemeyer (1979) griff diese Problematik auf und erstellte bei Hunden neben einem ERG ein Elektrookulogramm (EOG). Des Weiteren leitete er mit einem Elektroenzephalogramm (EEG) visuell evozierte Potentiale (VEP) ab. Brooks erstellte im Jahr 1999 Referenzwerte für Amplitudenhöhe und Latenzen für visuell evozierte Potentiale bei Pferden. In Kombination mit subjektiven Testmethoden und der Fundusbeurteilung mittels Fluoreszenzangiographie kann das visuelle System in seiner Gesamtheit beurteilt werden. Mit der Elektroretinographie alleine lässt sich weder eine vermutete Blindheit beweisen noch lassen sich fokale Netzhautdegenerationen aufdecken, da das ERG stets als Summenantwort der gesamten Netzhaut zu interpretieren ist. Eine Erblindung der eine Schädigung der Photorezeptoren zugrunde liegt, kann mit einem ERG belegt werden, wohingegen Erblindungen anderer Genese (Glaukom; Nervenschädigung) damit nicht unbedingt erfasst werden. Obwohl Matz et al. (1993) bei einem Pferd, das ein Schädeltrauma erlitten hatte, ein normales ERG ableiten konnten, wurde aufgrund des Verhaltens, der klinischen und ophthalmologischen Fundusbetrachtung sowie der histologischen Untersuchung der Befund einer beidseitigen Erblindung erhoben. Ein verändertes ERG ist nur dann zu beobachten wenn eine vollständige Netzhautdegeneration mit Beteiligung aller Schichten vorliegt, die die gesamte Netzhaut oder zumindest größere Areale betrifft. Entzündungen und Blutungen, die eine herdförmige Degeneration der Netzhaut verursachen können, sind nicht immer als Veränderungen im ERG erkennbar.

Das ERG kann zur Interpretation der äußeren und inneren Körnerschicht herangezogen werden, da die Ganglienzellen und die optische Nervenfaserschicht elektroretinographisch nicht darstellbar sind.

2.11 Allgemeine Indikationen in der Humanmedizin

Das ERG stellt als licht-evoziertes Summenpotential ein objektives diagnostisches Mittel der ophthalmologischen Praxis dar. Laut Niemeyer (1979) findet die Elektroretinographie Einsatz bei der

2 Literaturübersicht

- Erstellung von Früh- und Differentialdiagnosen und für die Beurteilung von Verlauf und Prognose bei Erkrankungen am Auge allgemein
- Abklärung bei Verdacht auf retinal bedingte Sehstörungen im Säuglings- bzw. Kindesalter, Abklärung auf Verdacht familiäre tapetoretinale Degeneration
- Abklärung bei Verdacht auf Metalloxis
- Beurteilung der Netzhautfunktion bei Medientrüben
- Überprüfung der Netzhautfunktion im Rahmen toxikologischer, physiologischer und neuropharmakologischer Studien.

Mittels speziellen Farbfilterpaaren können selektiv Stäbchen oder Zapfen stimuliert werden, was bei Erkrankungen, die nur den einen oder den anderen Zelltyp betreffen, von großem Vorteil sein kann:

Hemeralopien:	Tagsichtigkeit/Nachtblindheit, Ausfall der Zapfen bei Erhalt einer Stäbchenretina, bedingt durch einen Vitamin A-Mangel oder durch Infektionen
Achromatopsie	Farbenblindheit, fehlende Wahrnehmung von Farben, lediglich Wahrnehmung von Helligkeitswerten
progressive Zapfendystrophie	Erbkrankheit, mit Symptomen wie Photophobie, progrediente Visusminderung, Zentralskotome und Farbsinnstörungen

Laut Niemeyer ergänzt diese nicht invasive Untersuchungsmöglichkeit die klinische Untersuchung und ist essentiell bei der Diagnose bestimmter Erkrankungen. Martenet und Niemeyer (1990) führten elektroretinographische Untersuchungen mit einem Ganzfeldstimulator bei Patienten durch, die an unterschiedlichen Erkrankungsformen einer inneren Augenentzündung litten.

Mit Hilfe der Elektroretinographie lassen sich die verschiedenen Pigmente der Photorezeptoren in Spektren einteilen, was zur Erkennung vererbter oder erworbener Augenerkrankungen beitragen kann.

2.12 Indikationen in der Veterinärmedizin

2.12.1 Allgemeine Indikationen

In der Veterinärphthmologie stellt die Elektretinographie die am häufigsten eingesetzte elektrophysiologische Untersuchungsmethode dar und wird bei der Erkennung und Charakterisierung vererbter oder erworbener Netzhauterkrankungen eingesetzt, um zwischen zentraler und peripherer Blindheit zu unterscheiden . Da zum einen keine Befragung der Patienten über die Qualität der Sehfähigkeit wie in der Humanmedizin möglich ist und sich zum anderen Tiere meist gut an einen progradienten Sehverlust adaptieren, können mittels elektretinographischen Untersuchungen weitere Kenntnisse gewonnen werden. Der Autor weist jedoch darauf hin, dass die Elektretinographie allein an sich keine Aussage über die Sehfähigkeit bietet. Nach Acland (1988) bestehen für die Elektretinographie je nach Fragestellung zwei große Einsatzbereiche: die unkomplizierteste Anwendung ist die Überprüfung, ob ein standatisierter Lichtimpuls eine ERG Antwort auslöst oder nicht. Dieser Test ist für die Erkennung bzw. das Ausschließen von retinalen Erbkrankheiten und für die Unterscheidung zwischen bestimmten Netzhauterkrankungen und zentraler Blindheit sehr sinnvoll. Darüber hinaus kann es als entscheidendes Kriterium für eine Kataraktoperation herangezogen werden. Die zweite, ebenso wichtige Einsatzmöglichkeit besteht nach Meinung des Autors in der Früherkennung von degenerativen Netzhauterkrankungen.

Laut Brooks (1999) hat der Veterinär die Aufgabe, alle Aspekte der Augenuntersuchung zu berücksichtigen und den Besitzer über die durchgeführten Untersuchungen zu informieren. Bei einer Beurteilung von Augen- und Netzhautläsionen sollten seiner Meinung nach immer Nutzungsrichtung und Nutzungsart des Tieres mitbedacht werden, um den Grad der mögliche Sehfähigkeitsbeeinflussung und die Auswirkung derer auf die zukünftige Verwendung einschätzen zu können. An dieser Stelle kommt die Elektretinographie häufig zum Einsatz.

Narfström (2002) empfiehlt bei Hunden mit einer maturen Katarakt, bei denen eine Betrachtung des Fundus unmöglich, ist die Durchführung eines ERGs. Des Weiteren kann nach Meinung der Autorin ein ERG hilfreich sein, um evtl. vererbare Erkrankungen am Auge in der Tierzucht aufzudecken oder um toxikologische Studien an der Netzhaut durchzuführen. Auch Niemeyer (1999) greift diesen Punkt auf, indem er auf den Einsatzbereich der Elektretinographie in dem Gebiet der Erforschung von natürlichen oder gezielt genetisch veränderten Tiermodellen für Netzhautdegenerationen hinweist.

2.12.2 Spezielle Indikationen beim Pferd

Wouters und Mitarbeiter konnten beim Pferd die Zapfen- und Stäbchenanteile, die Adaptationsdauer sowie die Flickerfusionsgrenze. Reitenauer (1993) erstellte Referenzwerte für die elektroretinographische Untersuchung bei Pferden in Vollnarkose. Matz et al. (1993) leiteten ein ERG bei einem traumatisierten Pferdeauge ab, um dessen Funktionszustand zu überprüfen. Bei einer traumatischen Schädigung der afferenten Leitstrukturen des Auges konnten Martin et al. (1986) neben einem Ausfall des Pupillarreflexes beider Seiten ein normales ERG ableiten. In der Veterinärophthalmologie gilt die Elektroretinographie zur Überprüfung der Netzhautfunktion als Methode der Wahl, wobei der relativ hohen Inzidenz von Netzhauterkrankungen beim Pferd ein bisher eher spärlicher Einsatz der Elektroretinographie gegenübersteht. Beim Pferd ist die elektroretinographische Untersuchung bei einem bestehenden Verdacht auf Visuseinschränkungen retinaler Genese immer indiziert.

Joyce und Witzel (1977) führten elektroretinographische Untersuchungen bei Appaloosas mit Verdacht auf Nachtblindheit durch. Dabei konnten sie bei den untersuchten Pferden ein so genanntes „negatives ERG“ ableiten, wie es auch bei Menschen mit dieser Erkrankung zu beobachten ist. Die Pferde zeigten dabei ein gutes Sehvermögen am Tag, was sich auch bei weiterem Vorschreiten der Krankheit nicht verschlechterte. Am stärksten war die Symptomatik in der Dämmerung und bei Nacht zu beobachten.

Witzel et al. (1978) konnten bei nachtblindem Appaloosapferden sowohl photopische (reduzierte b-Welle und verlängerte Gipfelzeiten) als auch skotopische (keine b-Welle ableitbar) Abnormalitäten erkennen. Die histologischen Untersuchungen hingegen ergaben keine strukturellen Abnormalitäten. Auch Sims (1999) weist auf den Einsatz der Elektroretinographie bei Pferden mit Verdacht auf Nachtblindheit hin. Für diese Erkrankung wird ein Neurotransmitterdefekt im Bereich der inneren Segmente der Photorezeptoren (Stäbchen) und der Bipolarzellen verantwortlich gemacht.

2 Literaturübersicht

2.12.2.1 Uveitis

Die equine rezidivierende Uveitis stellt sehr häufig die Ursache für eine Erblindung bei Pferden dar. In den USA sind ungefähr 10 – 25 % der Pferdepopulation von dieser Erkrankung betroffen. Während eines akuten Entzündungsschubes der equinen rezidivierenden Uveitis können sich Entzündungsprodukte und humorale Faktoren im Glaskörper ablagern und diesen, je nach Schweregrad, eintrüben. Dadurch ist eine ophthalmologische Fundusbeurteilung oft nicht mehr möglich. Mit einer Vitrektomie, bei der mit speziellen Instrumenten das Glaskörpermaterial und die Entzündungsprodukte erst zerkleinert, abgesaugt und dann durch eine sterile physiologische Kochsalzlösung ersetzt werden, kann ein Großteil der entzündlichen Produkte entfernt werden. In einer Studie konnte bei den vitrektomierten Augen bei bis zu 98 % eine Rezidivfreiheit und bei bis zu 39,5 % der operierten Augen eine Erhaltung oder sogar eine Verbesserung der Sehfähigkeit erreicht werden. Eine schwere Entzündung der vorderen Augensegmente kann häufig eine adäquate Untersuchung des Augenhintergrundes verhindern. Ausschwitzungen der Choroidea, welche aus Zellen und Fibrin bestehen, können sich im Glaskörper ablagern und diesen eintrüben. Sobald sich im Laufe einer erfolgreichen Therapie die Pupille weitet und die optischen Medien aufklaren, kann beurteilt werden, ob sich im Zuge einer Chorioretinitis eine diffuse, nontapetale und exsudative Netzhautablösung entwickelt hat

Bei humanen Uveitispatienten können elektroretinographisch gewonnene Ergebnisse für die Prognosestellung und die Entscheidung über ein weiteres therapeutisches Vorgehen hilfreich sein (Wu et al. 1997). Liegt am betroffenen Auge zusätzlich eine Katarakt vor die die Einsicht auf den Augenhintergrund erschwert, kann mit Hilfe einer elektroretinographischen Messung der Netzhautzustand beurteilt werden. Martenet und Niemeyer (1990) weisen auf die Beteiligung der Netzhaut bei einer inneren Augenentzündung hin, weshalb auch sie empfehlen, bei jedem an dieser Erkrankung leidenden Patienten ein ERG, und wenn möglich auch noch therapiebegleitende Kontrollmessungen durchzuführen. Ihrer Meinung nach kann damit Schweregrad, Lokalisation und Typ der inneren Augenentzündung beurteilt werden.

2 Literaturübersicht

2.12.2.2 Glaukom

Bei Pferden unterscheidet man zwischen primärem, sekundärem und kongenitalem Glaukom, wobei jeder Erkrankungstyp eine kausale Ursache hat und somit prinzipiell als sekundär betrachtet werden kann. Bei Pferden mit einem primärem Glaukom konnten keine okularen Abnormalitäten festgestellt werden. Wahrscheinlich liegt hier eine genetische Ätiologie zugrunde. Bei einem Sekundärglaukom können folgende Ursachen für die Druckerhöhung vorliegen: Iridozyklitis, Linsenluxation oder eine intraokulare Neoplasie. Für ein Glaukom ist ein erhöhter Intraokulardruck (IOD) charakteristisch. Dieser kann eine Neuropathie des Nervus opticus verursachen und zur Blindheit führen.

Über die elektrophysiologische Untersuchung bei glaukomatösen Augen bei Pferden ist bisher kaum Literatur vorhanden.

Auf die Bedeutung des ERGs in der Humanmedizin und bei anderen Tierarten in der Veterinärphthalmologie wird im Folgenden eingegangen. In der Vergangenheit wurde das Lichtblitz-ERG für die Diagnosestellung bei glaukomatösen Augen zunächst als unbrauchbar eingestuft. In neueren Studien ist beschrieben, dass eine elektrophysiologische Untersuchung die Möglichkeit bietet, einen durch ein Glaukom bedingten Schaden am Auge aufzudecken. Mit dieser Methode ist eine Zuordnung der einzelnen Komponenten zu bestimmten Zelltypen und Zellschichten und somit eine objektive Beurteilung der Funktion der Zelltypen möglich. Das photopische ERG stellt bei Primaten eine komplexe, wahrscheinlich unter Beteiligung aller neuronalen Zellen zusammengesetzte Antwort dar, wobei die neuronalen Zellen als Komponenten eines Standard ERGs im Falle einer Glaukomerkrankung nicht beeinträchtigt werden. Nach Harwerth et al. (2002) und Hoffman et al. (1978a) ist das Glaukom eine relativ häufige Erkrankung, bei der das Absterben der Ganglienzellen einen fortschreitenden Verlust der Sehfähigkeit bis hin zur Erblindung bewirken kann. Für die Isolierung der Ganglienzellen als ERG-Komponente eignen sich nach Meinung der Autoren verschiedene Methoden. Als Methode der Wahl bezeichnen sie die Ableitung eines photopischen und eines multifokalen ERGs und weisen darauf hin, dass dies in der Diagnostik ein ebenso sensibles Instrument wie die Tonometrie darstellen kann.

Vaegen et al. (1995) fanden in ihrer Studie heraus, dass unter verschiedenen Messbedingungen bei Glaukopatienten eine Amplitudenreduktion und eine Verlängerung der Latenzzeit der a- und b-Welle auftritt. Mit dem Erkrankungsgrad konnten sie auch stärkere Veränderungen im ERG beobachten. Sie schließen daraus, dass bei glaukomatösen Augen nicht nur eine

2 Literaturübersicht

Atrophie des N. opticus, sondern zusätzlich eine ausgedehnte Netzhautschädigung der äußeren Abschnitte vorliegen muss.

Korth (1997) überprüfte die in der Humanmedizin vorhandene Literatur, die vom Einsatz verschiedener elektrophysiologischer Testmethoden bei Glaukompatienten handelt. Der Vorteil eines Lichtblitz-ERGs in der Diagnostik ist die Zusammensetzung des Blitzes aus verschiedenen Netzhautanteilen, wodurch eine separate Überprüfung der verschiedenen Abschnitte möglich ist. Diese stellt somit eine von den motorischen und kognitiven Fähigkeiten des Patienten unabhängige Testmethode dar. Das ERG kann somit prinzipiell auf einen durch ein Glaukom bedingten Schaden hinweisen und als Erweiterung zu durchgeführten psychophysischen Tests betrachtet werden. Allerdings eignet sich in der Humanmedizin das Standard-Lichtblitz-ERG nicht für die Frühdiagnose, da es hauptsächlich als eine Antwort der äußeren Netzhautabschnitte zu interpretieren ist. Korth (1997) schließt einen sinnvollen Einsatz des Lichtblitz-ERG bei Patienten mit einem Glaukom in einem fortgeschrittenen Stadium mit Beteiligung der äußeren Netzhautanteile nicht aus, weist aber auf die Notwendigkeit weiterer Studien in diesem Gebiet hin. Mit der Eruierung der einzelnen ERG-Komponenten wäre das Erkennen eines fortgeschrittenen Erkrankungsstadiums durchaus möglich. Die Informationen, die bisher aus kürzlich durchgeführten Studien über Veränderungen der skotopischen Anteile, oszillatorischen Potentiale und Flicker-ERG gewonnen wurden stellen zwar interessante Ergebnisse dar, allerdings ist über deren Zuverlässigkeit, Gültigkeit und Aussagekraft in Bezug auf die frühe Glaukomdiagnose noch zu wenig bekannt. Trotz des routinemäßigen Einsatzes des Muster-ERGs in der Glaukomdiagnostik, besteht auch hier noch Forschungsbedarf. Das Problem sieht Korth (1997) in dem Fehlen einer einheitlichen Definition eines frühen Erkrankungsstadiums. Dennoch handelt es sich um eine sinnvolle Anwendung und ein frequenterer Einsatz als Standarduntersuchungsmethode in der Veterinärmedizin wäre durchaus erstrebenswert.

Das standardmäßig durchgeführte Lichtblitz-ERG kann nur Netzhautveränderungen aufdecken, die im späten Stadium einer Schädigung durch ein Glaukom auftreten, wohingegen mit dem Muster-ERG eine frühe Schädigung der Ganglienzellen der Retina möglich ist.

2 Literaturübersicht

2.12.2.3 Weitere Augenerkrankungen

Das ERG findet auch bei Erkrankungen wie kongenitaler Nachtblindheit, Retinitis/Chorioretinitis anderer (als ERU) Genese, Netzhautablösungen, Augentraumata und weiterer Augenkrankheiten Einsatz in der Diagnostik.

Witzel und Rüs (1978) führten elektoretinographische Messungen bei Pferden mit Verdacht auf Nachtblindheit durch. Die Ergebnisse bei den Ableitungen unter skotopischen und photopischen Bedingungen zeigten ähnliche Abweichungen von der Norm wie die bei Menschen mit kongenitaler Nachtblindheit. Witzel et al. (1976) konnten bei einem Fohlen mit angeborener Nachtblindheit eine spät auftretende (400 ms) gering negative und lang gezogene ERG-Welle messen. Sie bezeichneten dieses Kurvenbild als negatives ERG. Witzel und Rüs (1978) führten bei sechs Appaloosapferden mit Verdacht auf Nachtblindheit mehrere elektoretinographische Messungen durch. Als Vergleich dienten ihnen drei augengesunde Kontrollpferde. Bei der ophthalmologischen Untersuchung konnten sie keine pathologischen Abweichungen der Augen feststellen. Bei der Auswertung der Ergebnisse traten erhebliche Unterschiede zwischen den Werten der augengesunden Pferde und denen mit Verdacht auf Nachtblindheit auf.

Um die funktionelle Dualität der equinen Netzhaut darzustellen und um objektive Parameter für die elektoretinographische Untersuchung beim Pferd festzulegen, führten Wouters et al. (1980) in einer klinischen Studie elektoretinographische Messungen an 10 gesunden Wallachen durch. Nach Meinung der Autoren stellt die Elektoretinographie eine gute und objektive Methode für die Dokumentation der Dunkeladaptationskapazität des Pferdeauges dar. Bei Appaloosas, bei denen ein Verdacht auf kongenitale Nachtblindheit besteht, sollte sowohl ein photopisches als auch ein skotopisches ERG erstellt werden.

Das ERG kann in Kombination mit einer sonographischen Augenuntersuchung Netzhautablösungen aufdecken. In den meisten Fällen sind die ERG-Kurven dann bereits zu einem frühen Zeitpunkt ausgelöscht. Zwar lässt sich bei manchen Tieren mit Netzhautablösung noch ein ERG ableiten, allerdings ist dann nur noch die a-Welle erkennbar. Eine b-Welle kann nicht dargestellt werden.

2 Literaturübersicht

2.12.2.4 Präoperativer Einsatz

Bei getrübbten Medien, wie sie vor allem bei Kataraktpatienten vorkommen, wird bei Kleintieren routinemäßig ein präoperatives Kontroll-ERG durchgeführt. Vor einer Kataraktoperation wird in den „Richtlinien für die Durchführung eines klinischen ERGs bei Hunden“ die Durchführung des einfachen Standardprotokolls der elektroretinographischen Messung empfohlen. Für eine Überprüfung des Funktionszustandes der Netzhaut ist dies ausreichend. Dieses Messverfahren sollte auch angewendet werden, wenn eine zentrale von einer peripheren Blindheit abgegrenzt werden soll.

Eine weitere Indikation für eine elektroretinographische Messung ist bei Pferden gegeben, die zu einer Kataraktoperation anstehen, da Netzhauerkrankungen mit einer kongenitalen oder erworbenen Katarakt assoziiert sein können. In Zukunft wird der Einsatz der Elektroretinographie vor Kataraktoperationen in der Pferdeheilkunde wahrscheinlich immer mehr an Bedeutung gewinnen. Selbst bei einer fortgeschrittenen Netzhautdegeneration kann eine Linsextraktion sinnvoll sein, da damit neben dem verbesserten kosmetischen Aspekt die Behandlung von einem linseninduzierten Glaukom oder einer Uveitis unterstützt werden kann. Eine Prüfung der Netzhautfunktion im Vorfeld ist dennoch zu empfehlen.

2.12.2.5 Vitrektomie

Um bei Patienten mit starken Medientrübnungen eine Prognose über die Restsehfähigkeit, vor allem bei Erwägung einer Operation (Vitrektomie) stellen zu können, biete die Elektroretinographie ein sinnvolles diagnostisches Mittel. Über den Effekt der Pars Plana Vitrektomie auf das ERG ist in der Literatur einiges bekannt. Doslak (1989) beschreibt in seiner Studie, dass eine Reduktion des ERGs auftritt, sobald im Rahmen der Vitrektomie mehr als 50 % des Glaskörpers mit Silikonöl ersetzt werden. Nao et al. (1995) überprüften den Effekt von zwei verschiedenen intraokularen Spüllösungen: S-MA 2 (Oppeguard MA) und DE-057 (BBS-Plus) auf das 30 Hz Flicker-ERG während einer Pars Plana Vitrektomie. Dabei stellten sie fest, dass es bei Verwendung der Spüllösung DE-057 zu einer Verlängerung der Latenzzeit von $50,1 \text{ ms} \pm 1,5 \text{ ms}$ auf $57,6 \text{ ms} \pm 1,3 \text{ ms}$ kommt ($p < 0,001$). Des Weiteren beobachteten sie eine Reduzierung der ERG-Amplitude von $55,8 \text{ } \mu\text{v} \pm 15,2 \text{ } \mu\text{v}$ auf $45,5 \text{ } \mu\text{v} \pm 13,2 \text{ } \mu\text{v}$ (Median \pm Standardabweichung), sobald das Medium S-MA2 durch das Medium DE-057 ersetzt wird.

2 Literaturübersicht

Miyake und Horiguschi (1998) untersuchten elektroretinographische Veränderungen während der Vitrektomie bei Menschen und stellten fest, dass zum einen die Temperatur der Spüllösung, als auch der Druck, unter dem diese während der Operation in das Auge appliziert wird, einen Einfluss auf das ERG haben können. Wurde das Glaskörpermaterial durch Silikonöl oder Luft unter akut erhöhten Druck ausgetauscht, stellte sich eine akute, reversible Amplitudenreduzierung des ERGs ein.

2.13 Wahl eines geeigneten Untersuchungsprotokolls

Narfstrom et al. (1995) stellten mit ihren elektroretinographischen Untersuchungsabläufen drei Möglichkeiten für eine getrennte Evaluierung der Zapfen- und Stäbchenfunktion dar:

- Lichtadaptation der Netzhaut
- Stimulation der Retina mit unterschiedlich farbigen Lichtern
- Durchführung eines Flicker ERGs über der Fusionsgrenze der Stäbchen

In den Richtlinien für die Durchführung eines klinischen ERGs bei Hunden wurden zwei unterschiedliche Untersuchungsprotokolle vorgeschlagen: 1. Für eine generelle Überprüfung der Netzhautfunktion ist das einfache Protokoll ausreichend; 2. Bei bestehenden angeborenen Augenerkrankungen (Degeneration oder Dysplasie der Photorezeptoren) bedarf es eines aufwendigeren Messverfahrens mit Kontrollgruppen gleichen Alters und gleicher Rasse. Mit diesem Messverfahren kann zwischen Zapfen- und Stäbchenfunktion unterschieden werden. Ein Standardprotokoll für die Durchführung von elektroretinographischen Messungen, wie es in der Humanmedizin und beim Hund angewendet wird, existiert im Bereich der Pferdeaugenheilkunde noch nicht. Einen Vorschlag für einen Untersuchungsablauf bieten Komaromy et al. (2003) in Anlehnung an die vorhandenen Standardprotokolle.

2.14 Beurteilung der elektroretinographischen Kurven und Erstellung von Referenzwerten

Martenet und Niemyer (1990) nahmen für die Beurteilung ihrer bei Menschen gewonnenen ERG - Ergebnisse folgende Einteilung vor: Normale Messergebnisse ($\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$), subnormale Messergebnisse ($< 2 \text{ SD}$ bis $\frac{1}{4}\bar{x}$) und Restpotentiale ($< \frac{1}{5}\bar{x}$). Eine Kategorisierung nach

2 Literaturübersicht

dem Entzündungsgrad lehnten sie ab, da dabei ihrer Meinung nach den akuten klinischen Symptomen mehr Bedeutung zukommt. Jacobi et al. (1993) rieten dazu, für eine statistische Auswertung nicht nur Mittelwert (\bar{x}) und Standardabweichung (SD) zu berechnen, da die meisten Werte nicht (im Sinne einer Gaußschen Normalverteilung) normal verteilt sind. Sie empfahlen daher, neben dem Median auch das 5. und 95. Perzentil zu berechnen. Nach ihren Erfahrungen liegt bei Patienten, deren Messwerte außerhalb des 5. Perzentils liegen, in 95 von 100 Fällen eine Abweichung von der Norm vor.

2.15 Referenzwerte für elektroretinographische Messungen bei Pferden unter Helladaptation

Jede Klinik oder jedes Labor sollte eigene Referenzbereiche für ERG-Werte gesunder Augen erstellen. Ein Vergleich von Messergebnissen aus unterschiedlichen Kliniken, die mit verschiedenen Techniken und unterschiedlichen Geräten arbeiten, erfordert besondere Sorgfalt und ist nur unter Vorbehalt möglich. Zu allen ERG-Geräten und Messprotokollen sollten Referenzwerte (Normalwerte und Grenzwerte dazu) erstellt werden. Reitenauer (1993) erstellte erste Referenzwerte für elektroretinographische Messungen bei Pferden unter Vollnarkose an helladaptierten Augen. Brooks (1999) veröffentlichte folgende Referenzwerte:

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Amplituden und Latenzen der a- und b-Welle bei Messungen unter Helladaptation veröffentlicht von Brooks (1999)

Messgröße	Amplitudenhöhe [μv]	Latenz [ms]
a-Welle	$40,89 \pm 20,50$	$5,19 \pm 1,56$
b-Welle	$184,75 \pm 63,26$	$26,63 \pm 2,26$

Matz et al. (1993) konnten bei einem Pferd mit einer klinisch diagnostizierten beidseitigen Erblindung ein photopisches ERG mit normalem Kurvenverlauf, welches sich nicht von dem eines gesunden Pferdes unterscheidet, ableiten. Als gemessene Werte gaben sie für die a-Wellen eine Amplitudenhöhe von $50 \mu\text{v}$ (linkes Auge), bzw. $26 \mu\text{v}$ (rechtes Auge) und eine Latenzzeit von 16 ms für das linke und das rechte Auge an. Die Höhe der b-Wellenamplitude

2 Literaturübersicht

betrug bei ihren Messungen 243 μv (linkes Auge) und 151 μv (rechtes Auge) mit einer Latenzzeit von 27 ms (linkes Auge) und 25 ms (rechtes Auge).

2.16 Referenzwerte für die elektroretinographische Messung bei Pferden unter Dunkeladaptation

Für die Messungen bei Dunkeladaptation bei Pferden sind folgende Referenzwerte veröffentlicht:

Tabelle 2: Referenzwerte bei Messungen nach einer Dunkeladaptationszeit von 5 Minuten und einer Blitzlichtintensität von 0,33 $\text{cd}\cdot\text{s}/\text{m}^2$; Sitz der Elektroden: aktive Elektrode auf der Kornea, Referenzelektrode an dem lateralen Kanthus des stimulierten Auges und Erdungselektrode subkutan ca. 1 cm vom Scheitelpunkt am Schädelknochen entfernt

	Amplitudenhöhe [μv]	Latenz [ms]
a-Welle	103,18 \pm 120,72	5,73 \pm 1,88
b-Welle	409,30 \pm 319,36	36,95 \pm 3,89

Tabelle 3: Referenzwerte bei Messungen nach einer Dunkeladaptationszeit von 5 Minuten und einer Blitzlichtintensität von 4,62 cd/m^2 , Sitz der Elektroden: aktive Elektrode auf der Kornea, Referenzelektrode an dem lateralen Kanthus des stimulierten Auges und Erdungselektrode subkutan ca. 1 cm vom Scheitelpunkt am Schädelknochen entfernt

	Amplitudenhöhe [μv]	Latenz [ms]
a-Welle	153,68 \pm 94,19	5,13 \pm 1,34
b-Welle	374,09 \pm 161,93	34,75 \pm 1,87

Komaromy et al. (2003) führten nach einer 20-minütigen Lichtadaptation eine elektroretinographische Messung durch. Im Anschluss erfolgte eine Dunkeladaptation. Während der

2 Literaturübersicht

Dunkeladaptation wurden alle 5 Minuten Messungen mit einer Lichtintensität von 0,03 cd* s/m² durchgeführt (Testschritt 3 = nach 5 Minuten, Schritt 4 nach 10 Minuten, Testschritt 5 nach 15 Minuten und Testschritt 6 nach 20 Minuten).

Tabelle 4: Ergebnisse der Messungen von Komáromy et al. (2003) der b-Wellenamplitude bei Pferden bei Dunkeladaptation; Sitz der Referenzelektrode: subkutan ca. 2 cm neben dem lateralen Kanthus; Sitz der Referenzelektrode: subkutan über dem Okkzipitalknochen

Testschritt	\bar{x} [μv]	Range (Minimum/Maximum) [μv]
3	43	15 – 85
4	72	34 – 134
5	147	45 – 215
6	188	78 – 212

2.17 Messung von oszillatorischen Potentialen

Oszillatorische Potentiale (Ops) werden generell von dunkeladaptierten Augen, können aber auch bei Messungen von helladaptierten Augen abgeleitet werden. Die Anwesenheit von OPs ist stark von der Stimulationsart, dem Adaptationszustand und den Verstärkerfiltereinstellungen abhängig. Von den meisten Autoren werden 3 Hauptzacken, häufig gefolgt von einer schwächeren 4. Zacke beschrieben. Schon das Achten auf die Präsenz und das Überprüfen ihrer Normalität im Vergleich zu den in der Klinik erstellten Kontrollkurven kann nach dem momentanen Wissenstand für viele klinische Zielsetzungen ausreichend sein. Um OPs messen zu können veränderten Komaromy et al. (2003) ihren Tiefpassfilter von 0,3 Hz auf 75 Hz um.

Rottensteiner (2000) bemerkte bei zunehmender Lichtintensität ein gehäuftes Vorkommen der Oszillatorischen Potentiale und konnte diese regelmäßig bei Pferden in Dunkeladaptation messen. Sie unterteilte die abgeleiteten Oszillatorischen Potentiale getrennt nach ihrem zeitlichen Auftreten in drei Untergruppen (OP1, OP 2, OP 4), wobei vor allem OP 4 häufig von Artefakten überlagert war und somit nicht ausgewertet werden konnte. Die Latenzen bis zum

2 Literaturübersicht

Erreichen der Amplitudenmaxima zwischen Dunkel- und Helladaptation stimmten größtenteils überein; eine Beurteilung der Amplitudenhöhen konnte nicht durchgeführt werden. Bei hochgradiger Medientrübung oder schwerwiegender Netzhautschädigung konnte Rottensteiner allerdings keine Oszillatorischen Potentiale beobachten. Sie bewertete das Vorkommen als positives Kriterium für den Erhalt der Retina. Das Fehlen sollte allerdings nicht unbedingt mit einer schlechten Prognose beurteilt werden.

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Pferde

In der Zeit von Mai 2006 bis Dezember 2006 wurden für diese Studie insgesamt 92 Pferde ophthalmologisch untersucht und es wurden jeweils ein oder mehrere ERGs angefertigt. Die Pferde, die in der Klinik vorgestellt wurden, wiesen verschiedene Erkrankungen am Auge auf. Das Alter der Patienten lag zwischen 2 und 20 Jahren. Die untersuchten Hengste (n = 3), Wallache (n = 51) und Stuten (n = 38), stammten aus verschiedenen Zuchtgebieten und folgende Rassen waren unter den Patienten vertreten: Bayerisches, Oldenburgsches, Württembergisches, Westfälisches, Hessisches, Rheinländisches, Hannoveraner und Holsteiner Warmblut, Kaltblüter, Vollblüter, Friesen, Araber, Trakehner, Quarter Horse, Paint, Appaloosas, Andalusier, deutsches Reitpony, Isländer, Norweger, Shetland Pony und Tinker. Neben den Tieren, die eine Augenerkrankung im Sinne einer Uveitis oder eines Glaukomes aufwiesen, wurden zusätzlich drei augengesunde Pferde, die aufgrund einer anderen Indikationsstellung operiert wurden, während des Eingriffs unter Inhalationsnarkose mit Isofluran-Sauerstoffgemisch an einem Auge elektroretinographisch untersucht.

3.2 RETIport 32

Für die Durchführung dieser Studie wurde das Gerät RETIport 32 Version 4.5.5 der Firma Acri.Tec AG Vet. (Hennigsdorf) verwendet. An das eigentliche ERG Gerät wurde über einen USB-2.0-Kabel ein Laptop angeschlossen und die gesamte Apparatur auf einem fahrbaren OP-Wagen aufgebaut. Auf dem Laptop wurde die von Acri.Tec mitgelieferte Software-Version von Juli 2006 installiert. Die Software des Gerätes bot sowohl einfache, für den Klinikalltag anwendbare, als auch moderne, für experimentelle Untersuchungen notwendigen Programme. Zusätzlich zu einem ERG konnten auch visuell evozierte Potentiale (VEP) abgeleitet werden. Vorhandene Programme konnten außerdem auch modifiziert oder ergänzt werden. Für die vorliegende Studie wurde das installierte Programm *photopic ERG-LED* verwendet und in den meisten Fällen mit derselben Parametereinstellung gearbeitet.

Zuerst wurden am rechten Auge ein photopisches ERG bei einer Frequenz von 1,3 Hz und anschließend ein Flicker-ERG bei 28 Hz abgeleitet. Nach einem Seitenwechsel erfolgte eine analoge Messung am linken Auge. Die Antwortsignale wurden zwischengespeichert und in

3 Eigene Untersuchungen

der Anzeige erschien dann eine Mittelwertkurve, die von einem Summator aus den aufgenommenen Potentialen errechnet wurde. Durch ein Mittelungsverfahren konnte das Signal-Rausch-Verhältnis der 20 Einzelmessungen verbessert und eine deutlichere Darstellung der Potentiale erreicht werden. Der Biosignalverstärker empfing eintreffende Signale zwischen 5 mV und 10 mV. Die Eingangsimpedanz lag bei $2 \times 100 \text{ m}\Omega$, wobei Werte von $< 4 \text{ }\mu\text{V}$ als Störgeräusch angezeigt wurden. Obwohl auch ein Verstärkerkabel mit 2 Anschlüssen verwendet wurde, konnten Ableitungen an beiden Augen nur nacheinander durchgeführt werden, da das Gerät nur einen Verstärkerkanal besaß. Durch Umstecken der aktiven Elektrode und des Verstärkerkabels konnte ein schneller Seitenwechsel durchgeführt werden. Bei der angebotenen Impedanzmessung konnten Werte von 1 - 220 k Ω gemessen werden. Als Lichtquelle diente eine Single Flash LED Lampe bestehend aus 4 integrierten Weißlicht LED-Leuchten, die auf die Kooijmanelektrode gesteckt wurde.

In dem RERTIport32 befand sich ein eingebauter medizinischer Netzfilter. Damit wurden Überspannungen und Störspitzen aus dem Stromnetz eliminiert. Ebenso verfügte der Verstärker über mehrere Tief- und Hochpassfilter sowie eine Gleichtaktunterdrückung von $> 110 \text{ dB}$, um einstreuende Störfrequenzen und ein Netzbrummen zu unterdrücken. Diese Störströmungen könnten andernfalls die ERG Ableitung überlagern und eine Kurvenauswertung erschweren.

Farbfilter wurden nicht verwendet, da dazu keine Indikation bestand. Eine Bewegung der Elektroden oder andere Beeinträchtigungen während der Messung hätten die Messergebnisse verfälschen können. Daher wurden solche Fehlmessungen mittels automatischer Artefakterkennung eliminiert. Für die Messungen der vorliegenden Arbeit wurde mit folgenden Einstellungen gearbeitet:

Frequenzbandbreite:	1 – 300 [Hz]
Hochpassfilter:	1 [Hz]
Tiefpassfilter:	300 [Hz]
Artefakterkennung:	5 %
Messbereich:	1 [mV]
Zahl der ermittelten Reize:	20
Messdauer:	150 [sec]

3 Eigene Untersuchungen

Vom Hersteller wird für das in dieser Studie verwendete Gerät RETIport32 für die Messung von Oszillierenden Potentialen eine Einstellung des Hoch- und Tiefpassfilters auf 200 - 500 Hz empfohlen.

Vor Messbeginn wurde an dem Gerät die Grundspannung zwischen den Elektroden (Biosignal) gemessen, wobei auf die Stabilität der Grundlinie geachtet wurde. Traten Sinuswellen oder Störzacken unbekannter Ursache auf, wurde mit der Untersuchung nicht fortgefahren, bis der Grund dafür isoliert und eliminiert worden war.

Für die Photostimulation wurde ein LED-Flash (Weißlicht) verwendet, das an das Gerät angeschlossen wurde. Es wurde mit folgender Lichtreizeinstellung gearbeitet:

Leistung:	600 [mW]
Reizfrequenz:	1,3 [Hz] (Standard)
	28 [Hz] (Flicker)
Lichtintensität:	0 [dB] (entsprechen ca. 3 cd*s/m ²)

In dem Untersuchungsraum konnten verschiedene Reihen der Deckenbeleuchtung ein- und ausgeschaltet werden. Bei der durchgeführten Messung wurde jeweils eine Lichtreihe angeschaltet, so dass auf Augenhöhe der Pferde im Untersuchungsstand eine Raumlichtbeleuchtung von 20 - 25 Lux mit dem Luxmeter (Fa. Gossen MAVO-Monitor-USB) gemessen wurde.

3 Eigene Untersuchungen

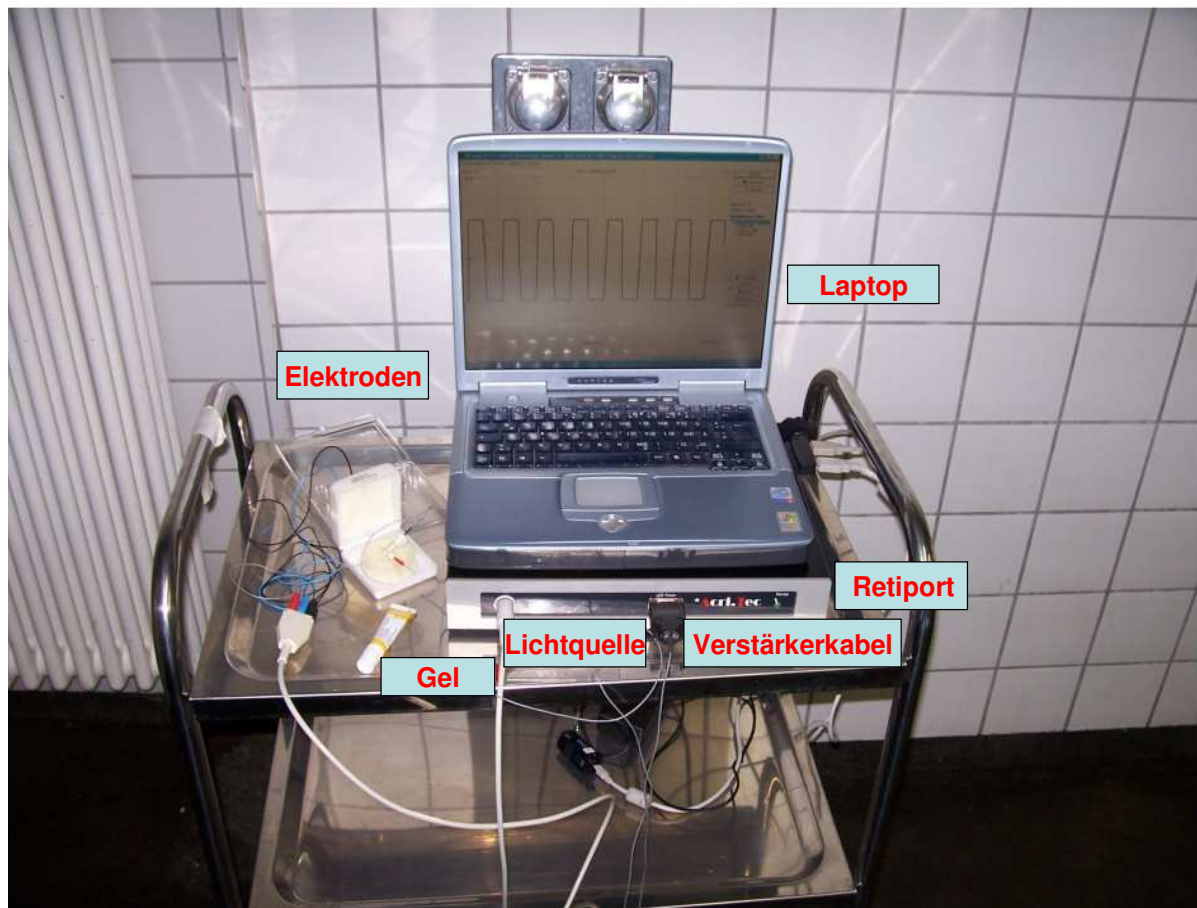


Abbildung 7: Aufbau der Messapparatur auf einem Rollwagen

Für die skotopischen Messungen wurden andere Messbedingungen und ein anderes Programm verwendet. Es wurde von Herrn Mentze (Firma Roland Consult Stasche & Finger GmbH und der Firma Acri.Tec) in Absprache mit Björn Ekestén (Vize-Präsident ECVO) und Ron Ofri (Member of ECVO) in Anlehnung an das ECVO-Protokoll für die skotopische Untersuchung beim Kleintier ein entsprechendes Programm für die Anwendung am Pferd erstellt. Die Anwendbarkeit dieses Programms sollte überprüft und Referenzwerte von gesunden Pferdeaugen erstellt werden, um eine Beurteilung der gemessenen ERG-Werte von Pferden mit dem Verdacht auf Nachtblindheit durchführen zu können. Bei den Messungen wurden die Pferde vor Messbeginn analog zu den Messungen bei Helladaptation sediert und in einem abgedunkelten Raum in den Untersuchungsstand gestellt. Als Orientierungslicht im wurde eine Infrarot-Wärmelampe verwendet, welche auf einem Tisch am Ende des Raumes, also maximal entfernt vom Pferdekopf stand und gegen die Wand gerichtet wurde, wodurch eine indirekte Beleuchtung gegeben war.

3 Eigene Untersuchungen

Lampe: Phillips IR1 150 R 230-250 [V]; 150 [W*2]

Birne: Schneider Infrarot Wärme: 230-300 [V]; 250 [W]; Nr. 489

Das im Untersuchungsraum verbleibende geringe Streulicht reichte aus, um das Tier während der langen Messdauer zu beobachten und das Programm zu bedienen. Die geringe Restbeleuchtung hatte dabei keinen Einfluss auf die Messergebnisse. Für die Interpretation der Messergebnisse dienten die von Pferd II gewonnenen Messwerte als Referenzwerte. Die Untersuchung gliederte sich in sechs Teile:

1. Teil: skotopisches ERG (Prüfung der Funktion der Stäbchen)

Lichtintensität: -20 [dB]

Frequenz: 0,2 [Hz]

Reizdauer: 250 [ms]

Messschritte: 6 (pro Auge)

Reize pro Messschritt: 4

Zwischen den einzelnen Messschritten : 5 Pausen zu jeweils 4 Minuten

2. Teil: skotopisches Flicker-ERG (Prüfung der Funktion der Stäbchen)

Lichtintensität: -20 [dB]

Frequenz: 9 [Hz]

Reizdauer: 600 [ms]

Messschritte: 1

Reize pro Messschritt: 5

3. Teil: skotopisches Kombinations-ERG (Prüfung der Funktion der Stäbchen und Zapfen)

Lichtintensität: 0 [dB]

Frequenz: 0,06 [Hz]

Reizdauer: 250 [ms]

3 Eigene Untersuchungen

Messschritte: 1

Reize pro Messschritt: 4

Lichtadaptation für 10 Minuten bei ca. 25 cd/m²

4. Teil: photopisches ERG (Prüfung der Funktion der Zapfen)

Lichtintensität: 0 [dB]

Frequenz: 2 [Hz]

Reizdauer: 150 [s]

Messschritte: 1

Reize pro Messschritt: 15

5. Teil: photopisches Flicker-ERG

Lichtintensität: 0 [dB]

Frequenz: 28 [Hz]

Messschritte: 1

3 Eigene Untersuchungen

Tabelle 5: Messprotokoll zur elektroretinographischen Messung bei Dunkeladaptation

Name	Intensität	Frequenz	Licht	Durchschnitt	Aufnahme	Umgebungslicht
Keine Dunkeladaptation						Hell
1.1 Scot.St. -20dB	0,03cd/m ²	0,2Hz	Aus	4	250ms	Dunkel
4min Pause						Dunkel
1.2 Scot.St. -20dB	0,03cd/m ²	0,2Hz	Aus	4	250ms	Dunkel
4min Pause						Dunkel
1.3 Scot.St. -20dB	0,03cd/m ²	0,2Hz	Aus	4	250ms	Dunkel
4min Pause						Dunkel
1.4 Scot.St.-20dB	0,03cd/m ²	0,2Hz	Aus	4	250ms	Dunkel
4min Pause						Dunkel
1.5 Scot.St. -20dB	0,03cd/m ²	0,2Hz	Aus	4	250ms	Dunkel
4min Pause						Dunkel
1.6 Scot.St. -20dB	0,03cd/m ²	0,2Hz	Aus	4	250ms	Dunkel
2. Stäbchen-Flicker -20dB	0,03cd/m ²	9Hz	Aus	5	600ms	Dunkel
3. Scot.mix.St. 0dB	3cd/m ²	0,06Hz	Aus	4	250ms	Dunkel
10min Lichtadaptation			25cd/m ²			Hell
4. Phot.St. 0dB	3cd/m ²	2Hz	25cd/m ²	15	150ms	Hell
5. Zapfen-Flicker 0dB	3cd/m ²	28Hz	25cd/m ²	8	300ms	Hell

3.3 Elektroden

Als aktive Elektrode diente die Kooijmanelektrode der Firma Acri.Tec, welche wie eine Kontaktlinse auf die Kornea des zu messenden Auges gesetzt wurde. Der äußere Ring der Aufsatzfläche beträgt im Durchmesser ca. 17 mm, der Innere Ring ca. 15 mm. Der LED Stimulator wurde von hinten auf die Kooijmanelektrode aufgesetzt.

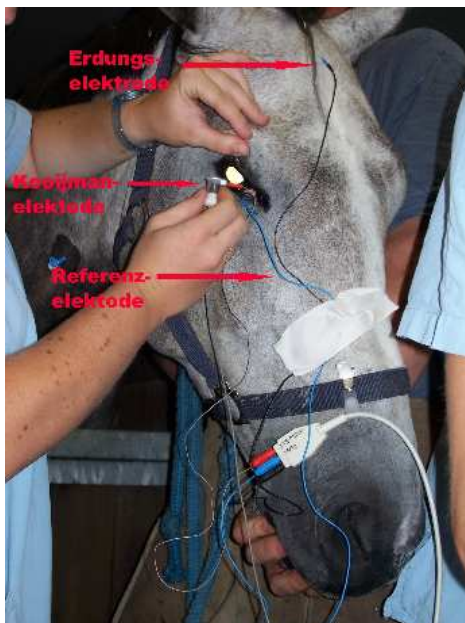


Abbildung 8: Fixation des Pferdekopfes und Positionierung der Elektroden am Pferdekopf nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges, Erdungselektrode in der Medianen auf Höhe Schopfansatz, aktive Elektrode auf der Hornhaut)

3 Eigene Untersuchungen



Abbildung 9: Positionierung der Kooijman-elektrode während eines Lichtstimulus auf der Hornhaut des zu untersuchenden Auges bei manueller Fixation des Oberlids

Es wurden folgende Elektroden (Referenz-/Erdungselektrode) für die Messung verwendet: Subdermale wieder verwendbare 12 mm lange Stahlnadeln mit einer Stärke von 0,4 x 13 mm und einer 1 mm langen Plastikbuchse.

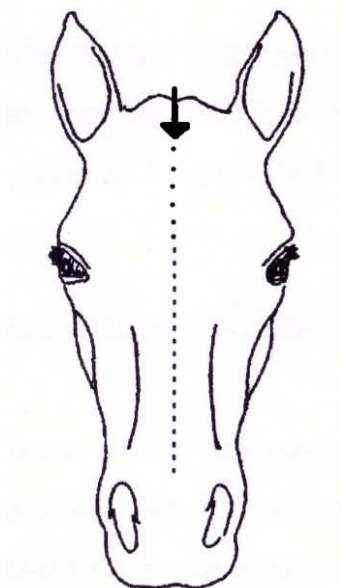


Abbildung 10: Die Erdungselektrode wurde subkutan in der Medianen auf Höhe des Schopfansatzes platziert

In der vorliegenden Studie wurden bei drei Pferden während einer Operation in Allgemein-anästhesie ERGs mit unterschiedlicher Platzierung der Referenzelektrode (Messmethode I/II) abgeleitet. Bei der Messmethode I wurde die Referenzelektrode subkutan ins Unterlid des zu untersuchenden Auges am Übergang vom nasalen zum mittleren Drittel des Unterlids gestochen, bei der Messmethode II wurde die Referenzelektrode subkutan ca. 2 cm lateral vom

3 Eigene Untersuchungen

Kanthus des zu untersuchenden Auges platziert. Auf die Gründe für die geänderte Methode und die Ergebnisse wird in Kapitel 4.1 und 5.2.3 genauer eingegangen.



Abbildung 11: Referenzelektrodenplatzierung nach Messmethode I: in der Mitte des Unterlides am Übergang vom nasalen zum mittleren Drittel des Unterlids subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges



Abbildung 12: Referenzelektrodenplatzierung nach Messmethode II: ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges

3.4 Indikationen für die elektroretinographische Messung

Die elektroretinographische Messung kann bei schlechter Prognose für die Erhaltung der Sehfähigkeit, bei der Planung von Operationen sowie ihrer postoperativen Verlaufskontrolle und bei der Dokumentation über den momentanen Funktionszustand der Netzhaut Informationen liefern. Für die durchgeführten elektroretinographischen Untersuchungen aus dieser Studie bestanden folgende Indikationen:

- Erfassung und Bestimmung des Schädigungsgrades der Netzhaut unter Berücksichtigung definierter Einflussgrößen (siehe Kapitel 4.8 und 4.9) bei Pferden, die entweder an einer Uveitis oder an einem Glaukom erkrankt waren. Besonders der Einfluss von

3 Eigene Untersuchungen

Trübungen oder Einlagerungen der optischen Medien auf die Messergebnisse sollte hier beurteilt werden.

- Vergleich von zeitlich versetzten Messungen im Rahmen einer Vitrektomie: es sollte überprüft werden, ob sich durch die Entfernung von Trübungen und Einlagerungen des Glaskörpers die Integrität und Funktion der Netzhaut verändert und dies im ERG erkennbar wird
- Überprüfung des Funktionszustandes der Netzhaut bei einem Patienten mit Verdacht auf Nachtblindheit

Im Rahmen der Untersuchungen wurden verschiedenen Messmethoden getestet, indem die Positionierung der Referenzelektrode variiert und die Messergebnisse miteinander verglichen wurden (siehe Kapitel 3.5 und 4.1). Des Weiteren erfolgte die Evaluierung eines neu erstellten Untersuchungsprotokolls für die elektroretinographische Ableitung bei Dunkeladaptation (siehe Kapitel 3.2, 3.5, 4.6 und 4.7).

Nach dem Vorbericht und der ophthalmologischen Untersuchung wurden die Pferde in die Erkrankungsgruppen „equine rezidivierende Uveitis“ und „Glaukom“ unterteilt. Bei einigen Patienten bestand laut Besitzer oder tierärztlichem Vorbericht eine Verminderung der Sehfähigkeit. Dabei reichte diese Visuseinschränkung von einer leichten Beeinträchtigung bis hin zur Blindheit. Das Ausmaß der Sehminderung sollte in der Klinik untersucht und anschließend eine prognostische Beurteilung abgegeben werden. Da bei den meisten erkrankten Augen eine Einsicht des Augenhintergrundes aufgrund von Medientrübungen nicht möglich war, erschien die elektroretinographische Untersuchung das Mittel der Wahl, um die Funktionsfähigkeit und Integrität der Netzhaut zu testen. Die meisten Patienten wiesen nur eine einseitige Erkrankung auf und die von dem gesunden Auge gewonnenen Werte wurden für die Erstellung von Referenzwerten herangezogen. Bei Pferden, die an einer Uveitis oder an einem Glaukom erkrankt waren, wurde eine gründliche ophthalmologische Untersuchung der Augen vor den elektroretinographischen Messung durchgeführt und Trübungsgrad bzw. Einlagerungen in dem Glaskörper sowie Veränderungen der Linse dokumentiert, um den Einfluss dieser Veränderungen auf die Messergebnisse berücksichtigen zu können.

3.5 Ablauf der elektroretinographischen Messung

Der Untersuchungsablauf der ERG–Standardmessungen gliederte sich in folgende Abschnitte:

- a) Ophthalmologische Untersuchung
- b) Ausfüllen eines Patientenbogens mit genauer Erfassung der pathologischen Veränderungen an allen Augenstrukturen (siehe auch Anhang „Patientenbogen“ in Kapitel 11.1.)
- c) Erstellen eines Standard-ERGs
- d) Eventuell: Erstellen eines Folge-ERGs zur Überprüfung des Einflusses der Vitrektomie auf das ERG (siehe Kapitel 4.3)

Bei der ophthalmologischen Untersuchung (Punkt a) wurden die einzelnen Augenstrukturen nach dem Schema von Gerhards (1990) beurteilt:

1. Augenumgebung
2. Augenlider
3. Konjunktiven
4. Sklera
5. Hornhaut
6. vordere Augenkammer
7. Iris
8. Pupillenreaktion
9. Linse
10. Glaskörperraum
11. Tapetum lucidum
12. Tapetum nigrum
13. Sehnervenpapille
14. Sonstiges (z.B. Intraokularer Druck, Atrophia bulbi)

Bei hellem Umgebungslicht wurde bei beiden Augen im Seitenvergleich eine sorgfältige Adspektion durchgeführt. Dabei wurde speziell auf eine Größenveränderung beider Bulbi, Veränderungen der Umgebung des Auges (z.B. Tränenspur, Haarverlust), der Lider, der Skle-

3 Eigene Untersuchungen

ra und der Nickhaut geachtet. Die Überprüfung der Sehfähigkeit wurde durch die Reaktion auf Drohgebärden getestet. Anschließend wurde in einem abgedunkelten Raum zuerst mit Hilfe einer starken, fokalen Lichtquelle (Hammerlampe, Fa. Carl Zeiss) das Auge genauer untersucht. Die Kornea wurde auf ihre Transparenz, Oberflächenbeschaffenheit und Gefäß-einsprossung untersucht. Verdächtige Stellen wurden mit Hilfe einer Kopfbandlupe (Stereo Work Master 2.2 x EMO) genauer betrachtet. Für die spezielle Untersuchung der inneren Augenstrukturen wurde das Ophthalmoskop der Firma Heine (Beta 200) verwendet. Die vordere Augenkammer wurde auf das Vorhandensein von fremdem Inhalt, wie Fibrin und Blut überprüft. Eine Bewertung der Tiefe der vorderen Augenkammer erfolgte durch den latero-medialen Lichteinfall in das Auge. Bei der Untersuchung der Iris wurde auf vordere und hintere Synechien sowie auf Farbveränderungen geachtet. Die Pupillengröße und Form der Pupille wurden dokumentiert und es wurde die Pupillenreaktion auf Lichteinfall getestet. Des Weiteren erfolgte eine Untersuchung der Linsenvorderfläche auf Trübungsbezirke.

Ein Großteil der Patienten stand für eine Vitrektomie, Parazentese oder eine Lasercyclokoagulation an den betroffenen Augen an. Ungefähr 10-15 Minuten vor dem eigentlichen Untersuchungsbeginn wurden die Pupillen mit einem Mydriatikum (Tropicamid, Mydriatikum Stulln[®], Fa. Pharma Stulln GmbH) weit gestellt. Der Pupillendurchmesser wurde vor dem Aufsetzen der Kooijmanelektrode in Millimetern abgeschätzt und auf dem Patientenbogen und in der Programmanzeige des Laptops notiert. Die Pferde wurden anschließend in den Untersuchungsraum geführt, wo weitere Maßnahmen für die Operationsvorbereitung durchgeführt wurden. Währenddessen adaptierten sich die Augen an die Raumbelichtung von ca. 20 - 25 Lux.

Für die Sedierung wurden 2 Kombinationsvariationen gewählt: Detomidin (Domosedan[®] 10–20 µg/kg) oder Xylazin 2 % (Xylazin[®] 0,4- 0,6 mg/kg) jeweils in Kombination mit Levomethadon (Polamivet[®] 0,075 mg/kg). Nach einer ausreichenden Sedierung wurden die Pferde in den Untersuchungsstand geführt und dort von einer Hilfsperson fixiert.

Um eine Verletzung der Hornhautoberfläche zu vermeiden und um die elektrische Leitfähigkeit zu verbessern, wurde ein Kontaktgel auf die Innenseite der aktiven Elektrode aufgetragen. Das transparente Viskoelastikum mit dem Wirkstoff Dexpanthenol (Panophthal-Gel[®] Fa. Dr. Winzer Pharma GMBH, 50 mg/g Gel) erwies sich nach mehreren Probemessungen (Impedanz < 5 kΩ) als geeignet. Zusätzlich wirkte es pflegend auf die Hornhaut.

Nach Fixation der Referenz- und Erdungselektrode wurde mit dem Daumen und dem Zeigefinger die Lidspalte vorsichtig geöffnet. Nun wurde die Kooijmanelektrode mit dem Kontakt-

3 Eigene Untersuchungen

gel auf die Hornhaut aufgesetzt und soweit dies möglich war während der Messung nicht mehr bewegt. Die Kabel der Elektroden wurden miteinander verdreht und alle elektronischen Geräte im Raum wurden ausgeschaltet, um ein 50 Hz Netzbrummen zu vermeiden.

Vor dem Start der eigentlichen Untersuchung wurde die Impedanz der Elektroden geprüft. Für die Impedanzmessung (Messung der Spannung zwischen den Elektroden ohne elektrischen Impuls) zwischen aktiver- und Referenzelektrode sollten stets Werte unter 10 k Ω , besser < 5 k Ω und im Optimalfall < 3 k Ω erzielt werden. Bei größeren Widerständen könnten sonst die Überlagerungen mit Störpotentialen aus der Umgebung immer größer werden. Bei Messwerten größer als 10 k Ω wurde die Untersuchung abgebrochen und die Elektroden sowie die gesamte Messapparatur überprüft. Erst nachdem die Fehlerquelle eliminiert wurde erfolgte die Fortsetzung der Messung. Die Elektroden wurden anschließend mit einem in Hautdesinfektionsmittel getunkten Tupfer gereinigt um Korrosion vorzubeugen, welche die Ergebnisse beeinflussen könnten. Da die Nadeln nach mehrmaligem Gebrauch stumpf wurden, mussten sie nach ca. jedem 8. - 10. Patienten ersetzt werden.

Bei 3 Pferden wurden während einer Operation unter Allgemeinanästhesie elektroretinographische Messungen an einem Auge mit unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode durchgeführt. Die Pferde hatten die bereits genannte Prämedikation über einen Venenverweilkatheter erhalten. Die Einleitung der Narkose war durch eine Mischinfusion von achtprozentiger Guaifenesinlösung (My 301[®] 100mg / kg) mit Ketamin (Urostamin[®] 2,2 mg / kg) erfolgt. Danach waren die Pferde intubiert und die Narkose durch die Inhalation eines Isofluran-Sauerstoffgemisches aufrechterhalten worden. Während der Operation befanden sich die Pferde in Seitenlage, weshalb jeweils nur an einem Auge ERGs abgeleitet werden konnten. Die vor der Operation durchgeführte ophthalmologische Untersuchung hatte bei keinem der 3 Pferde einen pathologischen Befund an den Augen ergeben.

Die elektroretinographische Messung der beiden Pferde unter Dunkeladaptation erfolgte nach demselben Schema. Es wurde allerdings eine höhere Konzentration der Sedativa verwendet, da die Messungen zeitaufwändiger waren als die Standard ERG-Messungen bei helladaptierten Augen. Die Messungen wurden nach dem erstellten Messprogramm (siehe Kapitel 3.2) durchgeführt.

3.6 Auswertung der Messungen

Bei dem RETIport32 der Firma Acri.Tec wurden die Marker für die Ermittlung der Amplitudenmaxima und der Verzögerungszeiten automatisch gesetzt. Eine manuelle Nachregelung war jedoch zu jedem späteren Zeitpunkt möglich. Nach Beendigung der Messungen konnten die abgespeicherten Kurven mittels Zoom in ihrer Größe verändert oder mit einer speziellen Filterfunktion in ihrem Aussehen geglättet werden. Anschließend konnten die Kurven als Abbildungen und die Messwerte in einer Excel-Tabelle gespeichert oder ausgedruckt werden.

Für die Messungen bei 1,3 Hz waren folgende Parameter eingestellt:

Latenz der a-Welle [ms]: Dauer vom Messbeginn bis zur Spitze der a-Wellenamplitude [ms]

Latenz der b-Welle [ms]: Dauer vom Messbeginn bis zur Spitze der b-Wellenamplitude [ms]

Amplitude der a-Welle [μv]: Spannungsdifferenz zwischen N (Nulllinie) und der Spitze der a-Wellenamplitude [μv]

Amplitude der b-Welle [μv]: Spannungsdifferenz zwischen N und der Spitze der b-Wellenamplitude [μv]

Für die Messungen bei 28 Hz wurden folgende Parameter eingestellt:

N1: Minimum der ersten Antwort [ms]

P1: Maximum der zweiten Antwort [ms]

N1 - P1: Amplitude der ersten Einzelantwort [μv]

28 Hz Amplitude [μv]

Amplitudenhöhe [μV]

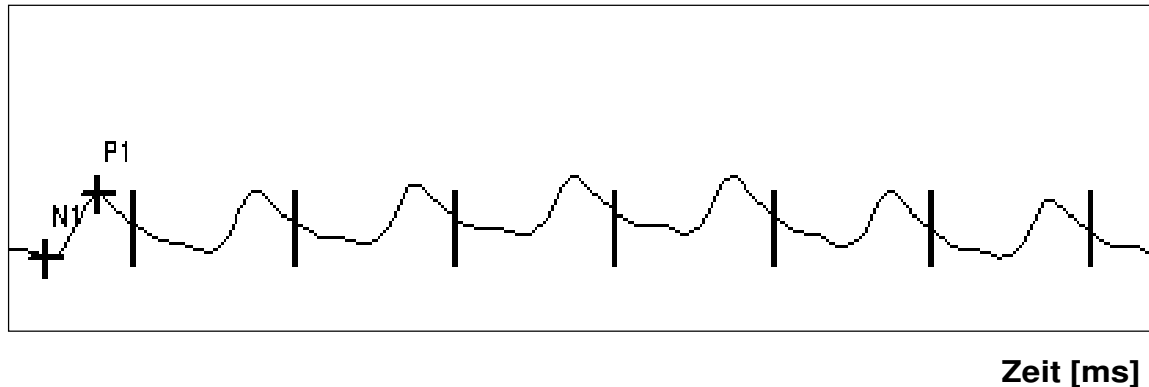


Abbildung 13: ERG-Kurve eines gesunden Auges bei einer Frequenz von 28 Hz

3.7 Einteilung der Patienten

Die Pferde wurden anhand der klinischen Augenuntersuchung vor der elektroretinographischen Messung in Gruppen unterteilt. Zuerst erfolgte eine Einteilung der Pferde nach dem Erkrankungsbild in Gruppe Uveitis, Glaukom und sonstige Augenerkrankungen. Pferde, die die klinische Symptomatik einer equinen rezidivierenden Uveitis aufwiesen, wurden nach folgenden Parametern (I-VI) untersucht und bewertet:

I = Vorkommen von Glaskörpertrübungen erkrankter Pferdeaugen (eingestuft nach Erfahrungswerten)

0 = keine Trübung

1 = geringgradige Trübung

2 = geringgradige-mittelgradige Trübung

3 = mittelgradige Trübung

3 Eigene Untersuchungen

4 = mittelgradige-hochgradige Trübung

5 = hochgradige Trübung

II = Vorkommen von Glaskörpereinlagerungen (II) erkrankter Pferdeaugen (eingestuft nach Erfahrungswerten)

0 = keine Trübung

1 = geringgradige Trübung

2 = geringgradige-mittelgradige Trübung

3 = mittelgradige Trübung

4 = mittelgradige-hochgradige Trübung

5 = hochgradige Trübung

III = subjektiv eingeschätzte Pupillenweite (mm) der untersuchten Augen

1 = geringer Pupillendurchmesser (<5mm)

2 = mittelweiter Pupillendurchmesser (8mm)

3 = weiter Pupillendurchmesser (10mm)

4 = Pupille maximal weit gestellt (12mm)

IV = verwendete Sedierung bei der elektroretinographischen Messung

1 = Detomidin + Levomethadon

2 = Xylazin + Levomethadon

3 Eigene Untersuchungen

V = Vorkommen von Linsentrübungen (V) erkrankter Pferdeaugen (eingestuft nach Erfahrungswerten)

0 = keine Trübung

1 = geringgradige Trübung

2 = mittelgradige Trübung

3 = vollständige Trübung

VI = Vorkommen von Hornhauttrübungen (VII) erkrankter Pferdeaugen (nur bei Glaukom, eingestuft nach Erfahrungswerten)

0= keine Hornhauttrübung/Ödem

1= hauchartige/geringgradige Trübung/Ödem

2= hauchartige-rauchige/ geringgradige-mittelgradige Trübung/Ödem

3= rauchige/ mittelgradige Trübung/Ödem

4= rauchige-milchige/ mittelgradige-hochgradige Trübung/Ödem

5= milchige/hochgradige Trübung/Ödem

VII = Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit erkrankter Pferdeaugen (eingestuft nach Erfahrungswerten)

0 = keine Beeinträchtigung der Sehfähigkeit, Augenhintergrund klar einsehbar, normale Reaktion auf Licht und Drohgebärden

1 = fast normale Reaktion auf Drohgebärden, normale Pupillenreaktion, Augenhintergrund einsehbar und normal bis geringgradige anatomische Veränderungen aber vernachlässigbar, kaum beeinträchtigte Sehfähigkeit

2 = geringgradige Reaktion auf Drohgebärden und normale bis verzögerte Reaktion auf Licht, meist Veränderungen an der Netzhaut aber häufig nicht zu beurteilen, da Augenhintergrund nicht einsehbar; geringgradig bis mittelgradig beeinträchtigte Sehfähigkeit

3 = keine Reaktion auf Drohgebärden und verzögerte, vorhandene Reaktion auf Licht, stark beeinträchtigte Sehfähigkeit, Augapfel bereits verkleinert

3 Eigene Untersuchungen

4 = keine Reaktion auf Drohgebärden und keine Reaktion auf Licht, Augapfel deutlich verkleinert und erblindet

Die Messergebnisse der Augen, die keine pathologischen Veränderungen im Sinne einer inneren Augenentzündung aufwiesen dienten als Referenzwerte und wurden als gesunde Augen unter Punkt VII (subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit) mit 0 eingestuft.

Neben der Einteilung der Patienten in die zwei Übergruppen „Uveitis“ und „Glaukom“ erfolgte eine weitere Unterteilung nach der jeweiligen Messmethode (veränderte Position der Referenzelektrode) in die Untersuchungsgruppen „Uveitis I“ und „Uveitis II“ bzw. „Glaukom I“ und „Glaukom II“ (siehe Kapitel 4.1 und 5.2.3). Trotz der geringeren Fallzahl der Patienten, welche mit der Messmethode II gemessen wurden, sind aufgrund der oben erwähnten Begründung (siehe Kapitel 3.3) die Ergebnisse der beiden Untersuchungsgruppen getrennt voneinander ausgewertet worden.

4 Ergebnisse

Ausgehend von den Ergebnissen vorangegangener Untersuchungen , die keinen Unterschied zwischen den Werten männlicher und weiblicher Pferde, bzw. zwischen unterschiedlichen Altersgruppen nachweisen konnte, wurden hier die Ergebnisse aller Tiere unabhängig von Rasse und Geschlecht zusammen betrachtet. Rottensteiner (2000) konnte bei der statistischen Auswertung ihrer Messergebnisse keinen signifikanten Unterschied zwischen den Werten des rechten und linken Auges feststellen (10 % Variation zwischen rechtem und linkem Auge möglich). In der vorliegenden Studie wurden die Ergebnisse der linken und der rechten Augen außer bei der Auswertung der Messergebnisse des Pferdes mit Verdacht auf Nachtblindheit (siehe Kapitel 4.6) zusammengefasst betrachtet.

4.1 Beeinflussung des ERGs durch den Sitz der Referenzelektrode

Bei drei Pferden wurden während einer Operation unter Allgemeinanästhesie ERGs mit unterschiedlicher Platzierung der Referenzelektrode abgeleitet. Es wurden mehrere Messungen pro Position durchgeführt und die Messergebnisse miteinander verglichen. Bei der Messmethode I wurde die Referenzelektrode subkutan ins Unterlid des zu untersuchenden Auges gestochen, bei der Messmethode II wurde die Referenzelektrode subkutan ca. 2 cm lateral vom Kanthus des zu untersuchenden Auges platziert.

4 Ergebnisse

Pferd I:

Amplitudenhöhe [μV]

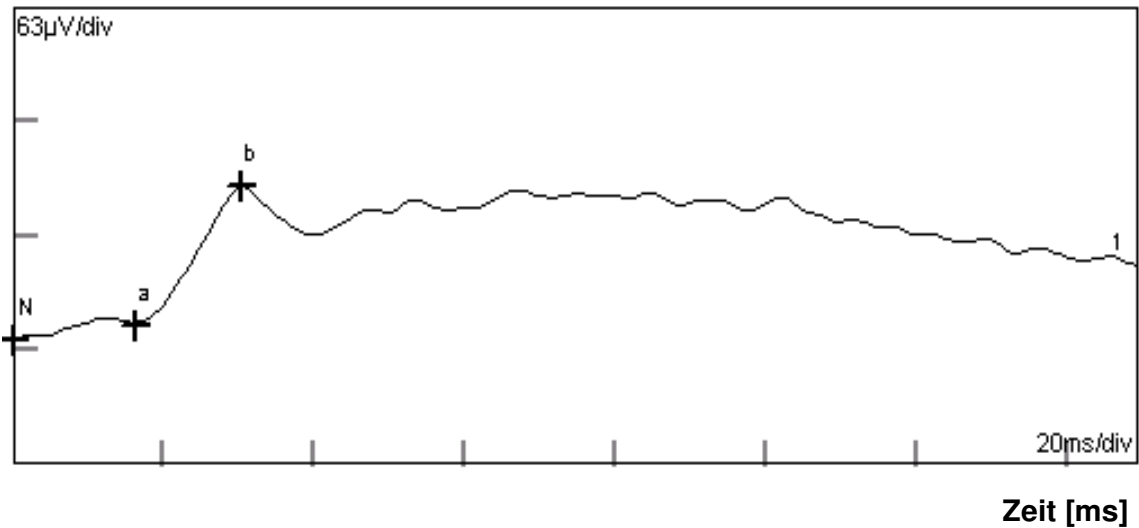


Abbildung 14: ERG Beispielskurve von Pferd I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid), bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = $8,28\ \mu\text{V}$, b-Wellenamplitude = $75,8\ \mu\text{V}$

Tabelle 6: Messergebnisse (Median) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd I, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges), bei 1,3 Hz

	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
Median (Methode I)	5,9	102
Median (Methode II)	9,8	124,5
Differenz	3,9	22,5

4 Ergebnisse

Amplitudenhöhe [μV]

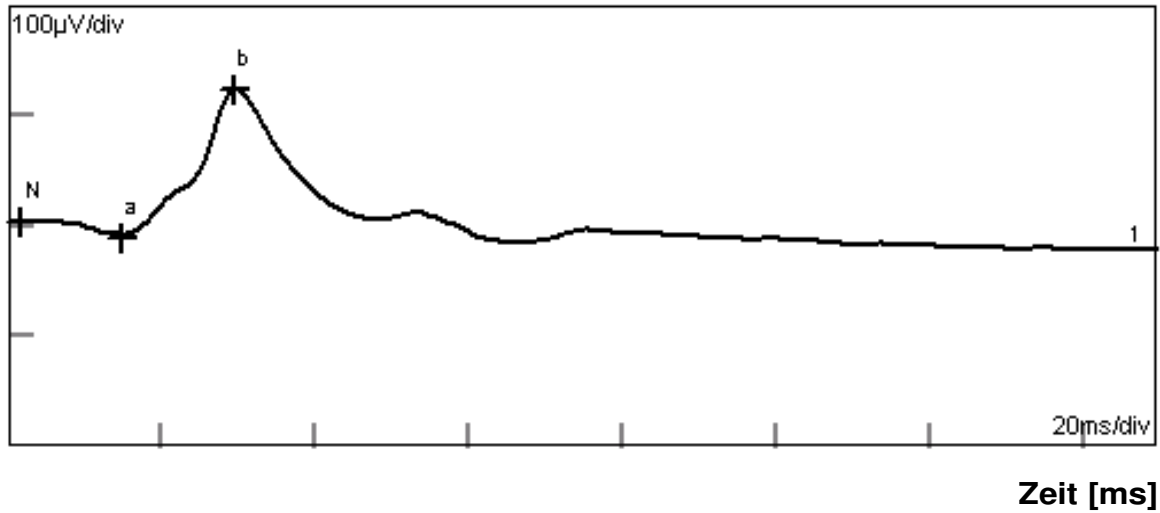


Abbildung 15: ERG Beispielpurve von Pferd I, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = 13,7 μV ; b-Wellenamplitude = 134 μV

Tabelle 7: Messergebnisse Mittelwert (\bar{x}) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd I, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz

	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
\bar{x} (Methode I)	7,6	89,6
\bar{x} (Methode II)	9,8	124,5
Differenz	2,2	34,9

4 Ergebnisse

Im Vergleich konnte festgestellt werden, dass bei Messungen mit 1,3 H die Amplitude der a-Welle höher war, wenn die Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges (Messmethode II) platziert wurde. Wenn Mittelwert (\bar{x}) und Median der Amplitudenhöhen der a-Welle bei Methode II als 100 % angesehen werden, ist der Mittelwert der a-Wellenamplitude bei Methode I um 22,5 % und der Medianwert um 39,8 % geringer als bei den Messungen mit Methode II.

Die Amplitudenhöhe der b-Welle, gemessen bei 1,3 Hz war bei der Messmethode II ebenfalls höher, als bei der Messmethode I. Wenn Mittelwert und Medianwert der b-Wellenamplitude bei Methode II als 100 % angesehen werden, sind Mittelwert (\bar{x}) bei Methode I um 28 % und der Medianwert um 18,1 % geringer als bei Methode II.

Pferd II:

Amplitudenhöhe [μV]

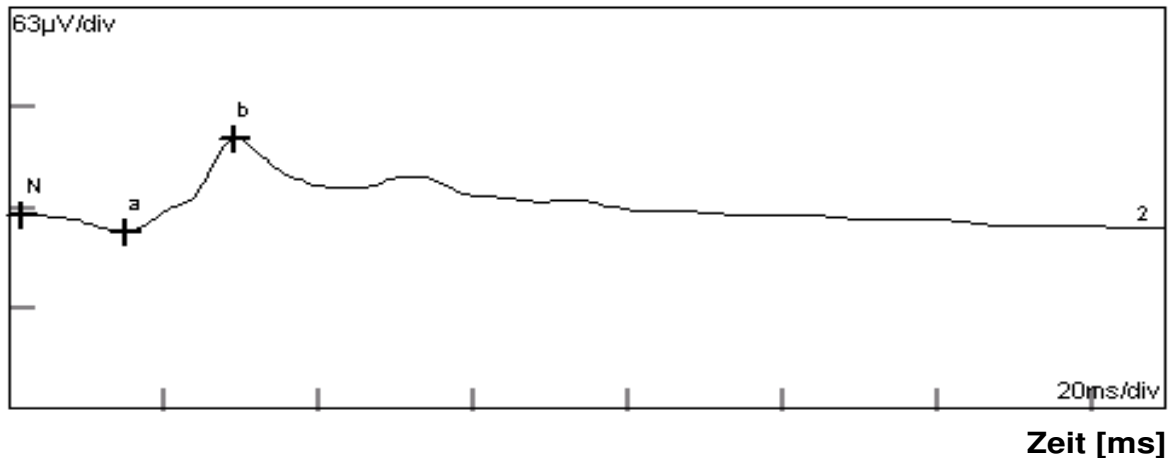


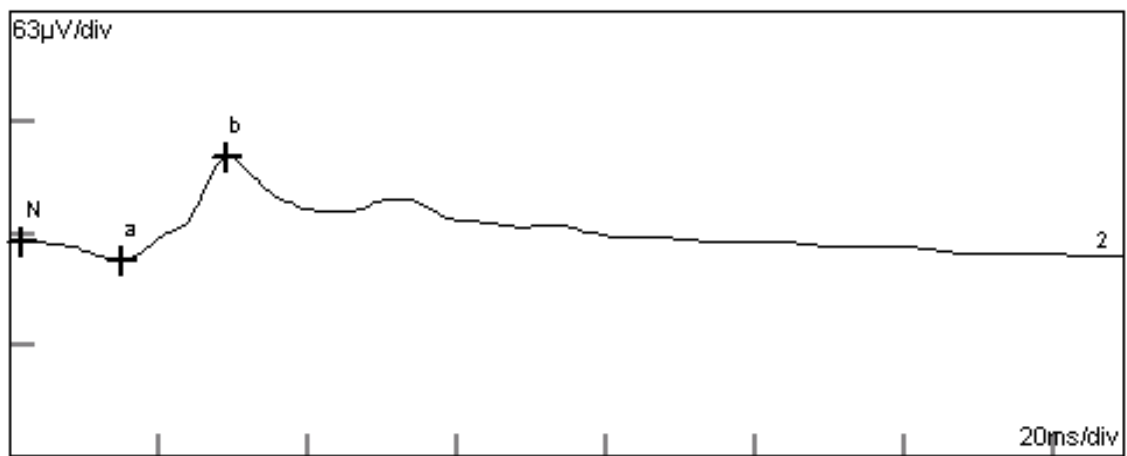
Abbildung 16: ERG Beispielskurve von Pferd II, gemessen nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid), bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = 10,3 μV , b-Wellenamplitude = 58,8 μV

4 Ergebnisse

Tabelle 8: Messergebnisse (Median) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd II, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz

	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
Median (Methode I)	3,8	61,4
Median (Methode II)	5,9	86,8
Differenz	2,1	25,4

Amplitudenhöhe [μV]



Zeit [ms]

Abbildung 17: Beispielkurve von Pferd II, gemessen nach Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude = 9,47 μV , b-Wellenamplitude = 88,7 μV

4 Ergebnisse

Tabelle 9: Messergebnisse Mittelwert (\bar{x}) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd II, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz

	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
\bar{x} (Methode I)	4,7	63,4
\bar{x} (Methode II)	5,9	86,6
Differenz	1,2	23,2

Wenn Mittelwert (\bar{x}) und Medianwert der Amplitudenhöhen der a-Welle bei Methode II als 100 % angesehen werden, ist der Mittelwert bei Methode I um 20,9 % und der Medianwert um 35,6 % geringer als bei Messmethode II. Wenn Mittelwert (\bar{x}) und Medianwert der Amplitudenhöhen der b-Welle bei Methode II als 100 % angesehen werden, ist der Mittelwert bei Messmethode I um 26,8 % und der Medianwert um 29,3 % geringer als bei Methode II.

4 Ergebnisse

Pferd III:

Amplitudenhöhe [μV]

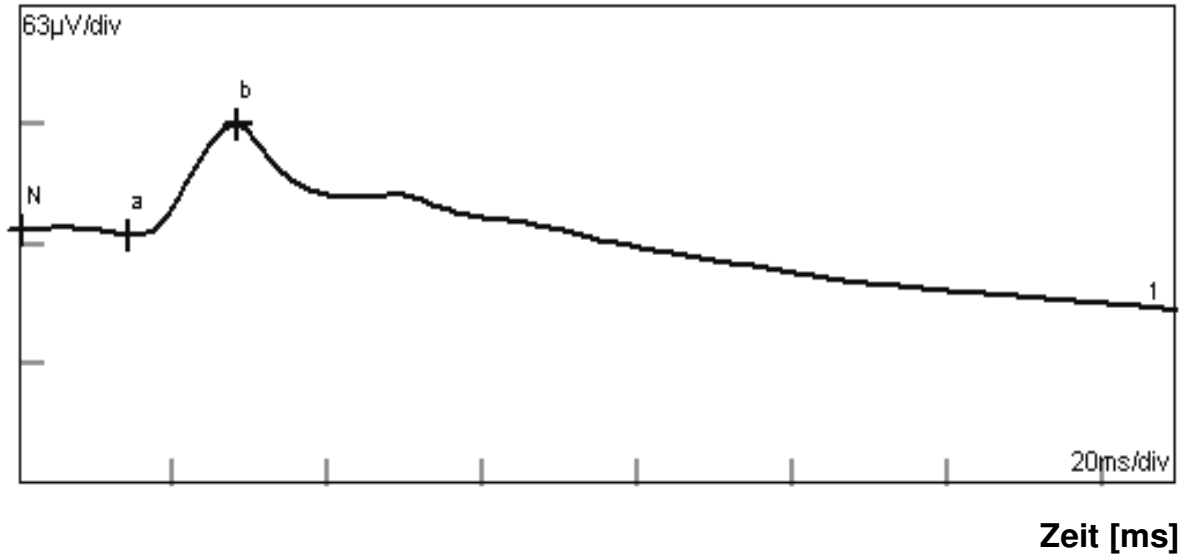


Abbildung 18: Beispielkurve von Pferd III bei Messung mit 1,3 Hz, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid); a-Wellenamplitude = 2,76 μV , b-Wellenamplitude = 57,1 μV

Tabelle 10: Messergebnisse (Median) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd III, gemessen und unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz

	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
Median (Methode I)	7,7	57
Median (Methode II)	10,7	57,1
Differenz	3	0,1

Amplitudenhöhe [μV]

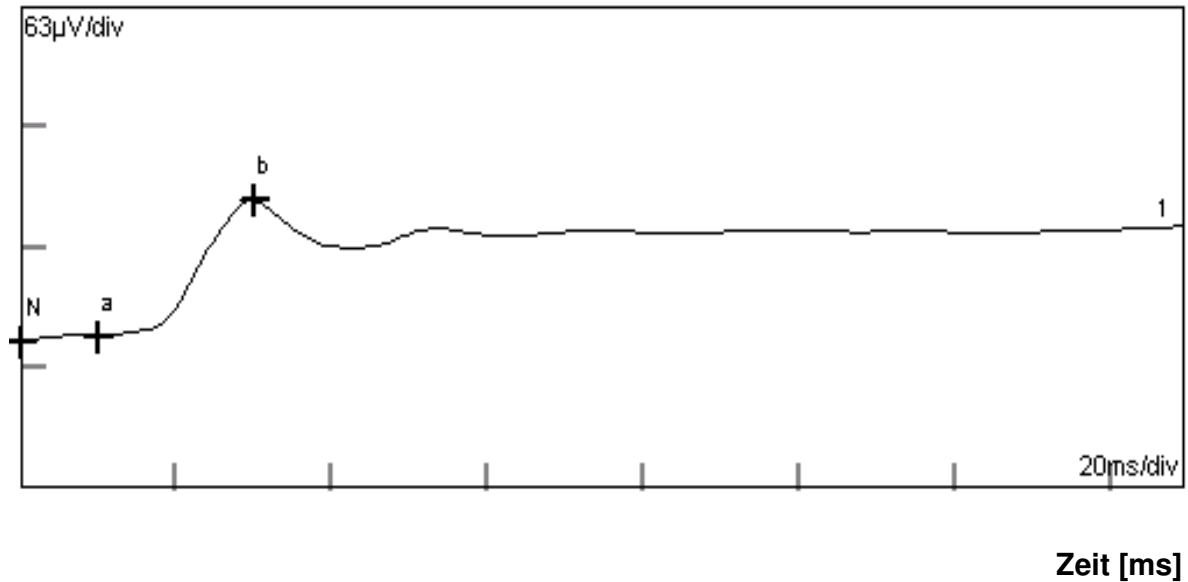


Abbildung 19: Beispielkurve von Pferd III bei Messung mit 1,3 Hz, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus); a-Wellenamplitude = 3,1 μV , b-Wellenamplitude = 70,5 μV

Wenn Mittelwert (\bar{x}) und Medianwert der Amplitudenhöhen der a-Welle bei Methode II als 100 % angesehen werden, ist der Mittelwert bei Methode I um 35,5 % und der Medianwert um 28,0 % geringer als bei Methode II. Wenn Mittelwert (\bar{x}) und Medianwert der Amplitudenhöhen der b-Welle bei Methode II als 100 % angesehen werden, ist der Mittelwert bei Messmethode I um 9,3 % und der Medianwert um 0,2 % geringer als bei Messmethode II.

4 Ergebnisse

Tabelle 11: Messergebnisse Mittelwert (\bar{x}) der a-Wellenamplitude und der b-Wellenamplitude von Pferd III, gemessen bei unterschiedlicher Positionierung der Referenzelektrode: Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) und Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz

	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
\bar{x} (Methode I)	6,9	51,9
\bar{x} (Methode II)	10,7	57,2
Differenz	3,8	5,3

4.2 Unterschiede in der Lichtintensität bei an Uveitis erkrankten Augen

Bei sieben Pferden der vorliegenden Studie wurden im Anschluss an eine Messung beider Augen unter Helladaptation mit der Standardlichtintensität von 0 Dezibel (dB) und einer Frequenz von 1,3 Hz (siehe Kapitel 3.2) noch je zwei weitere ERGs bei Helladaptation mit einer höheren Lichtstärke (5 dB und 10 dB) bei einer Frequenz von 1,3 Hz abgeleitet.

4 Ergebnisse

Pferd I:

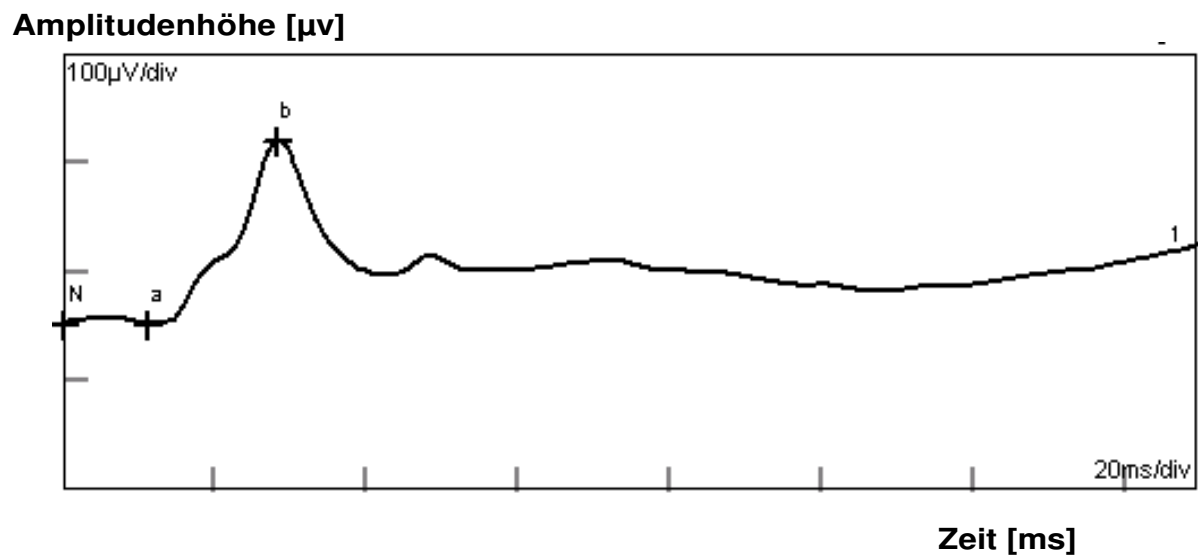


Abbildung 20: ERG-Kurve des gesunden Auges von Pferd I bei einer Lichtintensität von 0 dB, gemessen bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 1,1 μV , b-Wellenamplitude: 162 μV

Tabelle 12: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	11	28
5	15	32
10	14	35

4 Ergebnisse

Amplitudenhöhe [μV]

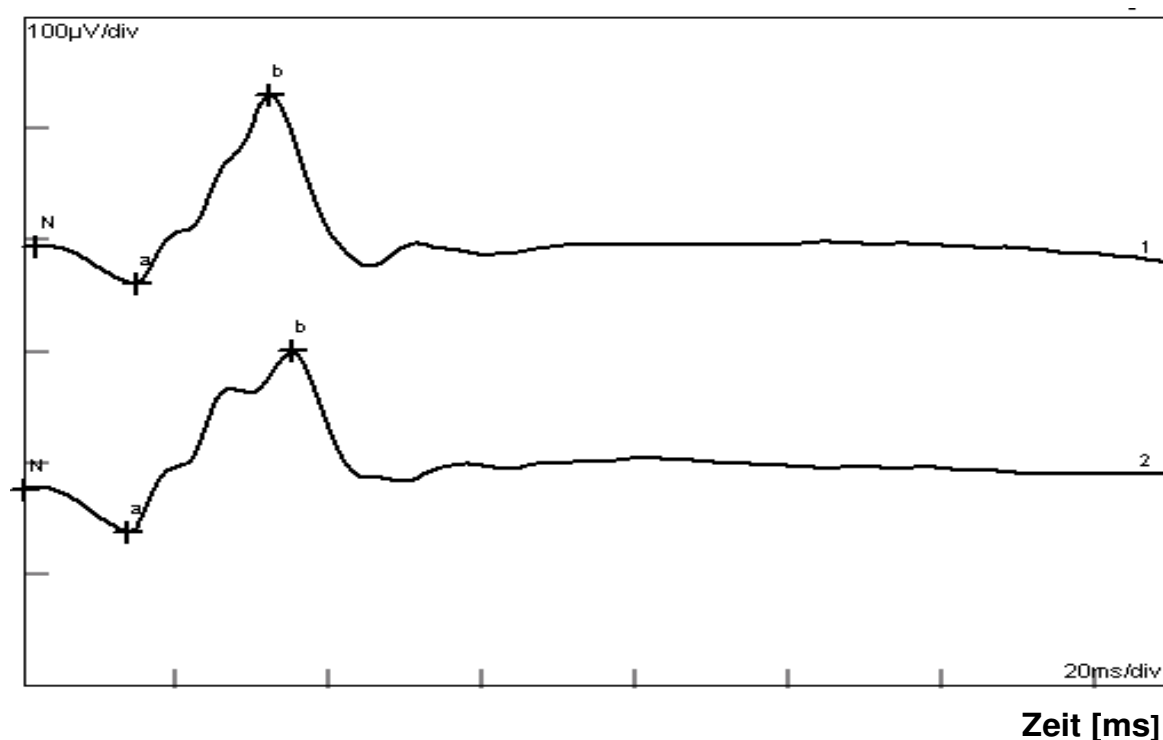


Abbildung 21: ERG- Kurven des gesunden Auges von Pferd I bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve), gemessen bei 1,3 Hz; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle

Tabelle 13: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	A-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	1,1	162
5	33,4	169
10	38,6	169

An diesem Auge lagen keine pathologischen Veränderungen im Sinne einer Uveitis vor. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude des gesunden Auges die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um das 35 fache größer als die bei 0 dB und um 15,5 % größer

4 Ergebnisse

als die bei 5 dB abgeleiteten ERGs. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 5 dB und 10 dB gemessenen wurden, sind um 4,3 % größer als die bei 0 dB abgeleiteten.

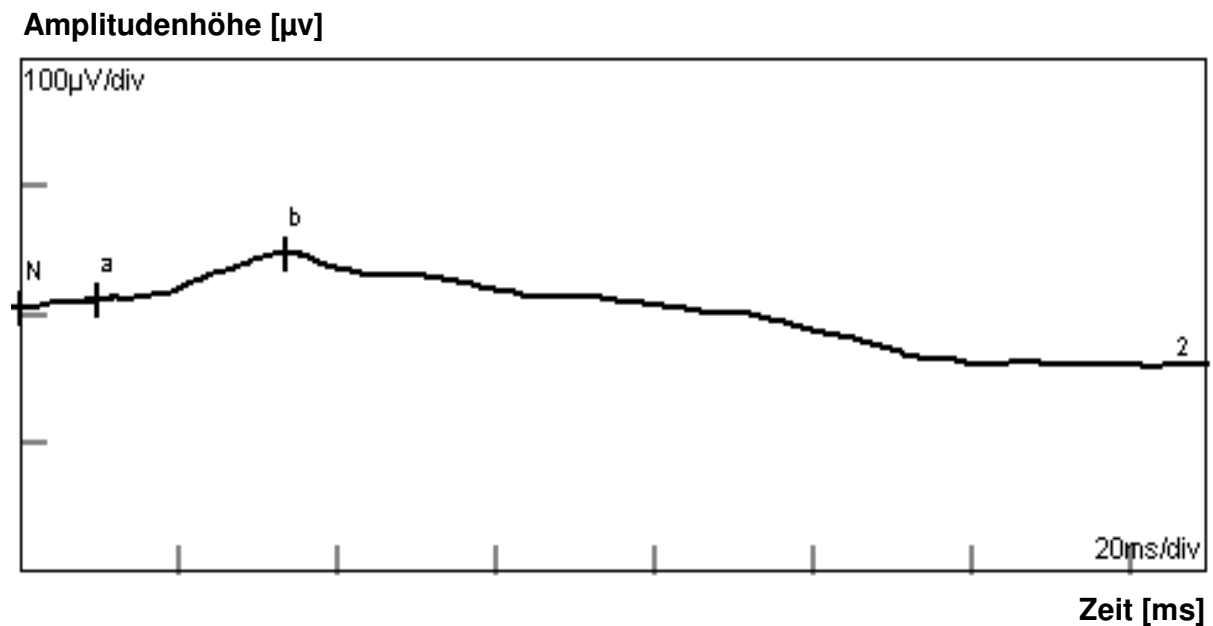


Abbildung 22: ERG-Kurve des kranken Auges von Pferd I bei einer Lichtintensität von 0 dB, gemessen bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 7,16 μV , b-Wellenamplitude: 36,1 μV

Tabelle 14: Messergebnisse der Latenz der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	10	34
5	16	37
10	16	39

4 Ergebnisse

Amplitudenhöhe [μV]

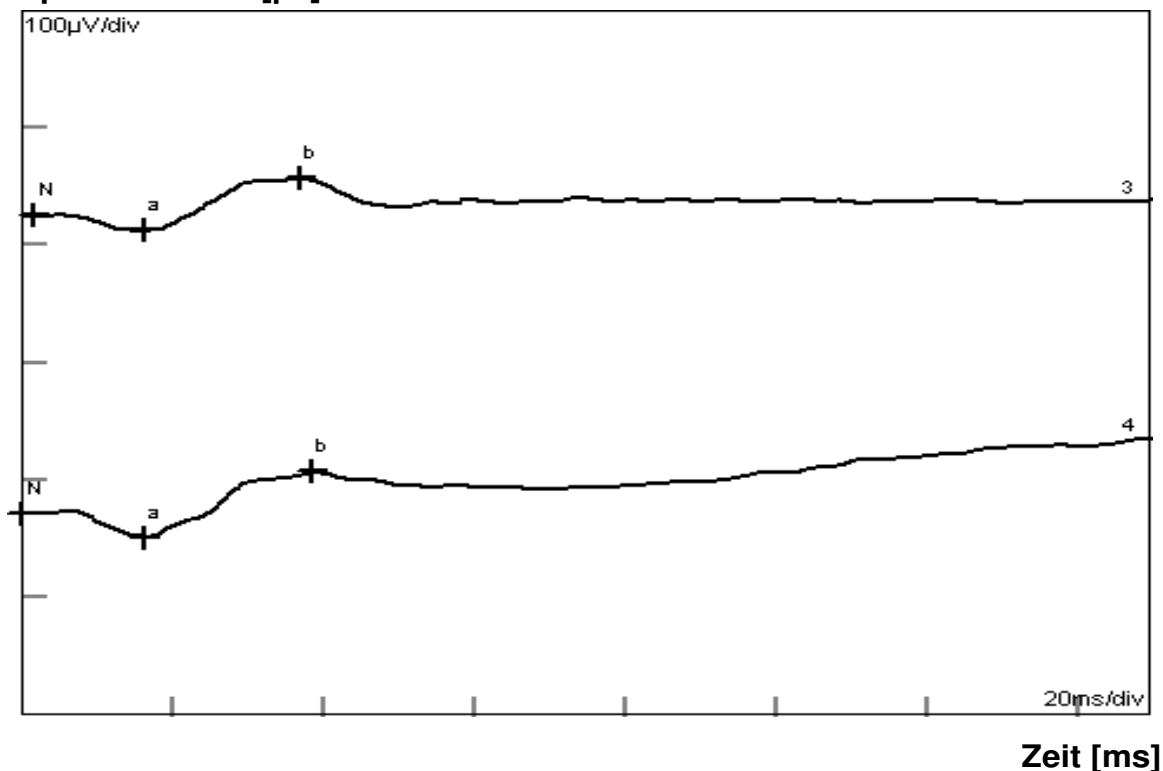


Abbildung 23: ERG-Kurven des erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve), bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 12,3 μV / 20,2 μV , b-Wellenamplitude: 44,6 μV / 56,4 μV

Tabelle 15: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	A – Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	7,16	36,1
5	12,3	44,6
10	20,2	56,4

Bei dem erkrankten Auge wurde bei der ophthalmologischen Untersuchung eine faltige Abhebung der Netzhaut im Bereich der Papilla nervi optici diagnostiziert. Zusätzlich lagen hier noch deutliche Trübungen und Einlagerungen im Glaskörper vor und das Pferd reagierte nur stark verzögert auf Drohgebärden. Der Pupillarreflex auf Lichteinfall war stark verzögert. Die

4 Ergebnisse

Werte der a-Wellenamplitude, gemessen bei 10 dB, sind um das 2,8 fache größer als die bei 0 dB und um 64,2 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse. Die Werte der b-Wellenamplitude, die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 56,2 % größer als die bei 0 dB und um 26,5 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

Pferd II:

Tabelle 16: Messergebnisse der Latenz der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	27
5	14	31
10	14	34

Tabelle 17: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	13,8	145
5	27,2	185
10	39,4	178

An diesem Auge lagen keine pathologischen Veränderungen im Sinne einer Uveitis vor. Die Werte der a-Wellenamplitude, gemessen bei 10 dB, sind um 185 % größer als die bei 0 dB und um 44,9 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse. Die Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 22,7 % größer als die bei 0 dB und um 3,8 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

4 Ergebnisse

Tabelle 18: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	28
5	15	34
10	15	33

Tabelle 19: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	24	123
5	30,8	158
10	53,8	126

Bei dem an Uveitis erkrankten Auge waren neben einer geringen Trübung auch geringe Einlagerungen im Glaskörperaum zu erkennen. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, waren um 124 % größer als die bei 0 dB gemessenen Messergebnisse und um 74,7 % größer als die bei 5 dB abgeleiteten Messergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, waren um 2,4 % größer als die bei 0 dB gemessenen Messergebnisse und um 20,3 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Messergebnisse.

4 Ergebnisse

Pferd III:

Tabelle 20: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten, bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	18	29
5	14	31
10	15	31

Tabelle 21: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μv]	b-Wellenamplitude [μv]
0	9	29,5
5	23,3	188
10	15,6	164

An diesem Auge lagen keine pathologischen Veränderungen im Sinne einer Uveitis vor. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 73,3 % größer als die bei 0 dB und um 33 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Werte. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um das 5,6 fache größer als die bei 0 dB und um 12,8 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

4 Ergebnisse

Tabelle 22: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	18	29
5	16	34
10	15	37

Tabelle 23: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	20,1	38,1
5	10,3	94,6
10	15,7	122

Bei diesem Auge war der Glaskörper geringgradig trübt und es waren geringgradige Einlagerungen in den Glaskörper zu erkennen. Zwischen Iris und Linsenvorderfläche war eine alte Verklebung erkennbar und die Pupille war dadurch nur mittelweit geöffnet. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude des an Uveitis erkrankten Auges, die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 21,9 % niedriger als die bei 0 dB und um 52,4 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um das 3,2 fache größer als die bei 0 dB und um 29 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

4 Ergebnisse

Pferd IV:

Amplitudenhöhe [μV]

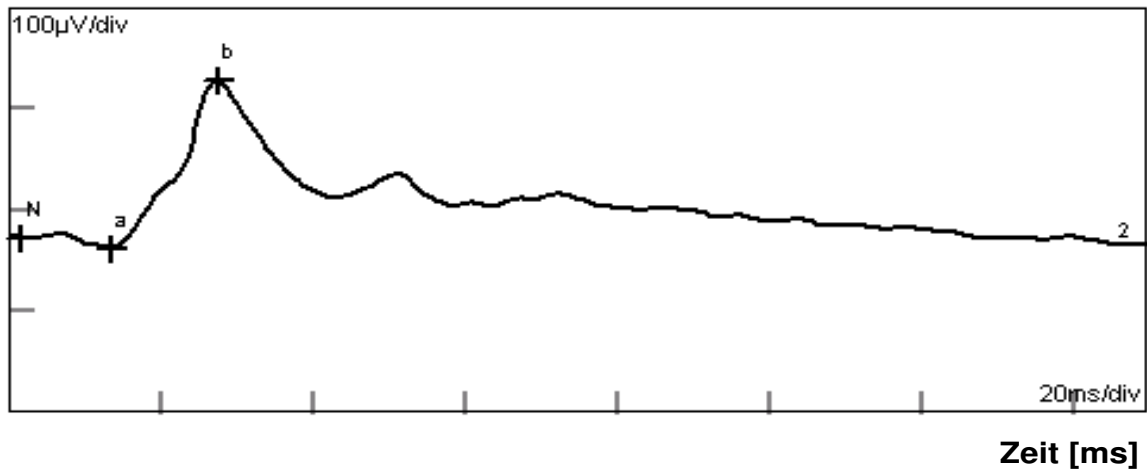


Abbildung 24: ERG-Kurve des gesunden Auges von Pferd IV, gemessen bei einer Lichtintensität von 0 dB, bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 9,5 μV , b-Wellenamplitude: 166 μV

Tabelle 24: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	28
5	13	31
10	13	34

4 Ergebnisse

Tabelle 25: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	9,5	166
5	13,9	238
10	29,4	218

An diesem Auge lagen keine pathologischen Veränderungen vor. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 3,1 fache größer als die bei 0 dB und um 2,1 fache größer als die bei 5 dB abgeleiteten Messergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 31,3 % größer als die bei 0 dB und um 8,4 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Werte.

Tabelle 26: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle der an Uveitis erkrankten Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	30
5	14	35
10	14	36

4 Ergebnisse

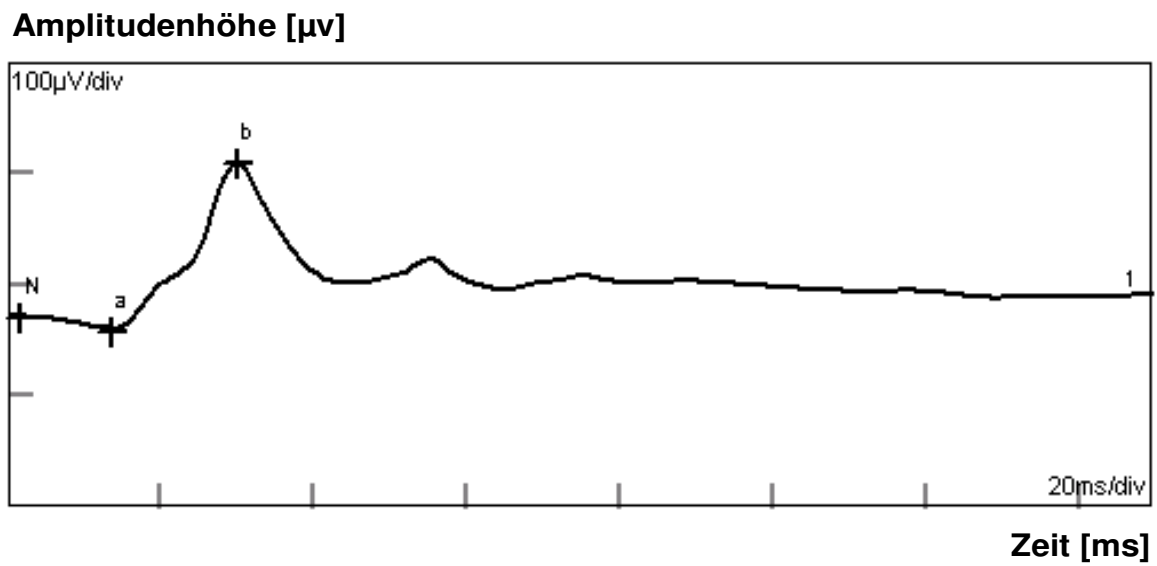


Abbildung 25: ERG-Kurven des an Uveitis erkrankten Auges vom Pferd IV, gemessen bei einer Lichtintensität von 0 dB bei 1,3 Hz, a-Wellenamplitude: 11,3 μV , b-Wellenamplitude: 151 μV

Amplitudenhöhe [μV]

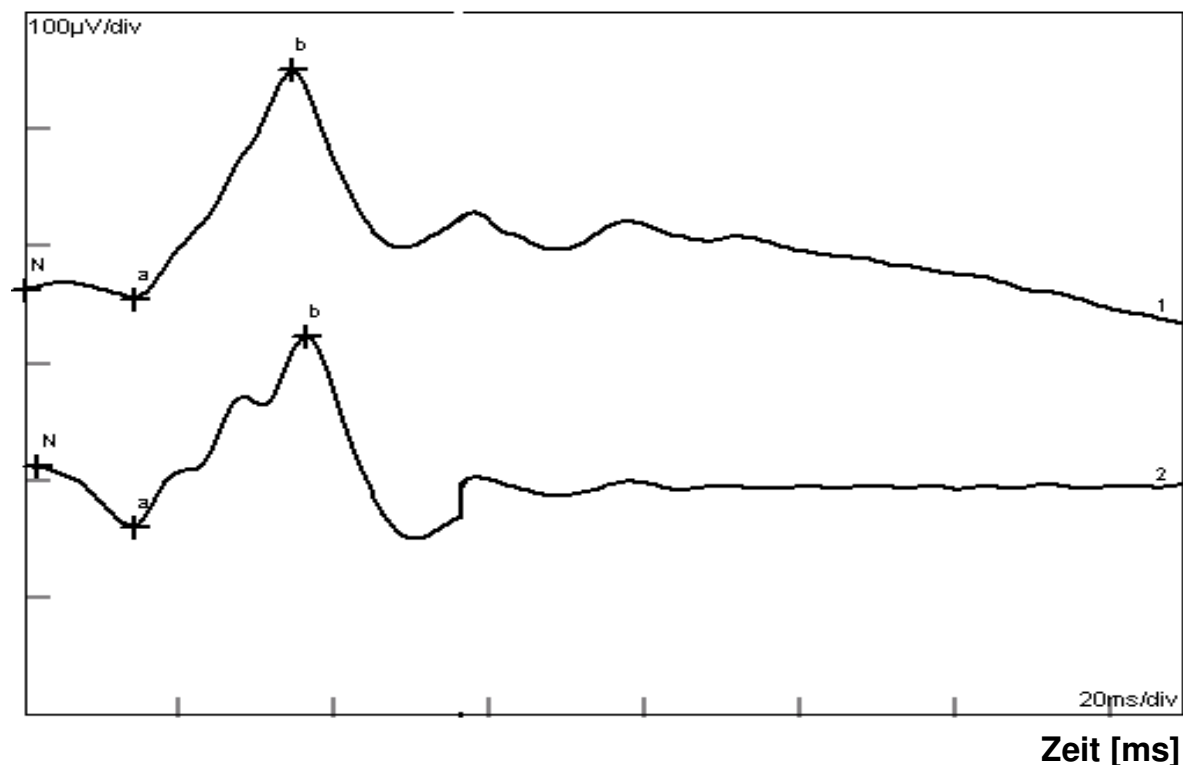


Abbildung 26: ERG-Kurven des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd IV, gemessen bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve) bei 1,3 Hz; a-Wellenamplitude: 7,2 μV /51,5 μV , b-Wellenamplitude: 195 μV /163 μV

Tabelle 27: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd IV, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1, 3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	11,3	151
5	7,2	195
10	51,5	163

Bei diesem an Uveitis erkrankten Auge waren hochgradige Einlagerungen in den stark getrüben Glaskörper zu sehen und die Linsenvorderfläche zeigte ebenfalls geringgradige Auflagerungen. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude des erkrankten Auges, die bei einer In-

4 Ergebnisse

tenazität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 4,6 fache größer als die bei 0 dB und um 7,2 fache höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 7,9 % größer als die bei 0 dB und um 16,4 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

Pferd V:

Tabelle 28: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten und 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	28
5	11	30
10	14	32

Tabelle 29: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	0,9	133
5	21,6	121
10	20,7	142

Es konnten keine pathologischen Befunde im Sinne einer Uveitis an diesem Auge erhoben werden. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 23 fache größer als die bei 0 dB und um 4,2 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Messergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 6,8 % größer als die bei 0 dB und um 17,3 % höher als die bei 5 dB gemessenen Messergebnisse.

4 Ergebnisse

Tabelle 30: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Pferdes V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	15	34
5	10	35
10	15	33

Tabelle 31: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Pferdes V, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	9,8	68,5
5	9,8	83,6
10	36,2	66,2

Bei diesem an Uveitis erkrankten Auge war die Pupille aufgrund von Verklebungen der Iris mit der Linsenvorderfläche nur mittelweit geöffnet und der Glaskörperraum war mittelgradig diffus getrübt. Ventral der Papille war eine dreidimensionale, plastische Netzhautfalte zu erkennen, die sich in den Glaskörperraum abgehoben hat. Die absoluten Messergebnisse der a-Wellenamplitude, die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 3,7 fache größer als die bei 0 dB und bei 5 dB gemessenen Messergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 3,4 % niedriger als die bei 0 dB und um 20,8 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Messergebnisse.

4 Ergebnisse

Pferd VI:

Tabelle 32: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	28
5	14	30
10	12	32

Tabelle 33: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	21,5	179
5	14,8	229
10	22,9	219

An diesem Auge lagen keine pathologischen Veränderungen im Sinne einer Uveitis vor. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude, die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 6,5 % größer als die bei 0 dB und um 54,7 % höher als die in den bei 5 dB gemessenen Ergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 22,3 % größer als die bei 0 dB und um 4,4 % niedriger als bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

4 Ergebnisse

Tabelle 34: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	10	32
5	15	34
10	14	36

Tabelle 35: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VI, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	8,8	130
5	15,4	189
10	25,8	203

Bei diesem an Uveitis erkrankten Auge war die Hornhaut leicht getrübt und die Linse zeigte eine beginnende Katarakt sowie Verklebungen mit der Iris, weshalb die Pupille nur mittelweit geöffnet war. Des Weiteren konnten mittelgradig entzündliche Einlagerungen in den getrühten Glaskörper festgestellt werden. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude des erkrankten Auges, die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um das 2,9 fache größer als die bei 0 dB und um 67,5 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 56,1 % größer als die bei 0 dB und um 7,4 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

4 Ergebnisse

Pferd VII:

Tabelle 36: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	28
5	15	31
10	14	35

Tabelle 37: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	15,6	138
5	27,3	166
10	31,3	118

Es konnten keine pathologischen Befunde an diesem Auge erhoben werden. Die absoluten Messergebnisse der a-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 100% größer als die bei 0 dB und um 14,6 % höher als die bei 5 dB gemessenen Messergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessenen wurden, sind um 14,5 % niedriger als die bei 0 dB und um 28,9 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Messergebnisse.

4 Ergebnisse

Tabelle 38: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	28
5	15	31
10	10	35

Tabelle 39: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an Uveitis erkrankten Auges von Pferd VII, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μ V]	b-Wellenamplitude [μ V]
0	2,3	35,1
5	6,6	25,4
10	0,5	44,8

Bei diesem an Uveitis erkrankten Auge lag eine mature Katarakt vor. In dem mittelgradig getrübbten Glaskörperraum waren mittlere Mengen an entzündlichen Einlagerungen zu erkennen. Die absoluten Werte der a-Wellenamplitude, die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, waren um 78,2 % kleiner als die bei 0 dB und um 92,4 % niedriger als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse. Die absoluten Werte der b-Wellenamplitude die bei einer Intensität von 10 dB gemessen wurden, sind um 27,6 % größer als die bei 0 dB und um 76,3 % höher als die bei 5 dB gemessenen Ergebnisse.

Bei der ERG-Ableitung in Helladaptation ist in der vorliegenden Untersuchung (siehe Kapitel 4.2) sowohl bei den gesunden, als auch bei den erkrankten Augen ein deutlicher Unterschied zwischen den Ergebnissen, die bei unterschiedlichen Lichtintensitäten gemessen wurden, feststellbar. Die gemessenen a- und b-Wellenamplituden nehmen mit steigender Lichtintensität zu.

4.3 Beeinflussung des ERGs durch die Vitrektomie

Bei acht Pferden wurde vor der Vitrektomie ein ERG aufgezeichnet. Nach dem Eingriff erfolgten eine weitere ophthalmologische Untersuchung und elektroretinographische Messung. Der Glaskörper war bei einigen Pferden post-operativ klarer und es waren weniger Einlagerungen zu erkennen.

Tabelle 40: Ergebnisse der Messungen der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle bei Messungen der gesunden, nicht vitrektomierten Augen bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Minimum	Maximum
a-Wellenamplitude	8	15,2	10,4	15,4	3,5	25,7
b-Wellenamplitude	8	133	49,3	112	85	203

Tabelle 41: Ergebnisse der Messungen der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle bei Messungen bei an Uveitis erkrankten Augen, vor (prä) und nach (post) der Vitrektomie, bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Minimum	Maximum
a-Wellenamplitude prä	8	13,4	6,6	12,8	5	23,3
a-Wellenamplitude post	8	14,4	12	11,5	0,2	37,6
b-Wellenamplitude prä	8	93,3	42,4	82,7	31	170
b-Wellenamplitude post	8	85,2	38	80,5	36	151

Die Messergebnisse der a- und b-Wellenamplitude der gesunden Augen liegen über den Messergebnissen der an einer Uveitis erkrankten Augen. Bei den erkrankten Augen war nach der Vitrektomie im Vergleich zu den Messergebnissen vor der Vitrektomie eine Amplitudensteigerung der a-Welle, bezogen auf den Mittelwert um 7,5 % und um 10,2 % bezogen auf den Medianwert messbar. Im Gegensatz dazu kam es bei den Messungen der b-Welle nach der Vitrektomie zu einer Reduktion der Amplitudenhöhen um 8,7 % bezogen auf den Mittelwert und um 2,7 % bezogen auf den Medianwert.

4.4 Ergebnisse bei Messungen mit unterschiedlichen Lichtintensität bei an Glaukom erkrankten Augen

Bei drei Pferden, die an einem Glaukom erkrankt waren, wurde im Anschluss an die Standardmessung mit 0 dB noch eine ERG-Messung mit 5 dB und eine ERG-Messung mit 10 dB durchgeführt.

Bei Pferd I lagen am erkrankten Auge geringgradige Einlagerungen im Glaskörper vor und das Auge wies eine geringgradige Linsetrübung auf. Die Pupille war zum Messzeitpunkt maximal dilatiert. Der Augeninnendruck betrug am erkrankten Auge 50 mmHg (gesundes Auge: 24 mmHg).

Tabelle 42: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	29
5	15	35
10	18	42

Tabelle 43: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	31
5	14	36
10	18	42

Die Latenzen der a- und der b-Wellenamplitude waren bei den Messungen mit einer höheren Lichtintensität sowohl bei dem gesunden, als auch bei dem erkrankten Auge verlängert.

4 Ergebnisse

Tabelle 44: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	21,6	114
5	19,9	216
10	7,2	140

Tabelle 45: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd I, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	15,4	110
5	21,8	195
10	8,9	136

Ausgehend von den Messungen der a-Wellenamplitude des gesunden Auges bei 0 dB konnte bei den Lichtintensitäten von 5 dB und 10 dB eine Reduktion der Amplitudenhöhe von 7,9 % bzw. 66,6 % beobachtet werden. Die Amplitudenhöhen der b-Welle des gesunden Auges erreichte bei der Messung mit 5 dB ihren Maximalwert und war somit um 89,5 % höher als bei 0 dB und um 54,3 % größer als bei 10 dB.

Die a-Wellenamplitude des an Uveitis erkrankten Auges erreichten ihren Maximalwert ebenfalls bei der Messung mit 5 dB und war somit um 41,6 % höher als bei 0 dB und um das 2,5 fache höher als bei 10 dB. Die b-Wellenamplitude des an Uveitis erkrankten Auges erreichten ihren Maximalwert ebenfalls bei der Messung mit 5 dB und war somit um 77,3 % höher als bei 0 dB und um 43,4 % höher als bei 10 dB. Es konnte daher eine Steigerung der Amplitudenhöhe mit zunehmender Lichtintensität von 0 auf 5 dB und ein Reduktion der Amplituden-

4 Ergebnisse

höhe von 5 auf 10 dB sowohl bei dem gesunden als auch bei den an Uveitis erkrankten Augen beobachtet werden.

Bei Pferd II lag an dem erkrankten Auge ein deutlich diffus getrübt Glaskörper vor. Dieser war auch mittelgradig von Entzündungsprodukten eingelagert. Die Linse des erkrankten Auges wies bereits eine mature Katarakt auf. Zum Zeitpunkt der ERG-Messung war die Pupille des erkrankten Auges mittelweit geöffnet und der Augeninnendruck lag bei 41 mmHg (gesundes Auge: 22 mmHg).

Tabelle 46: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	29
5	15	32
10	14	34

Tabelle 47: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	14	31
5	14	35
10	12	36

Die Latenz der a-Welle des gesunden Auges von Pferd II war bei der Messung bei 5 dB um 1 ms verlängert. Bei dem erkrankten Auge war die a-Wellenlatenz bei der Messung mit 10 dB um 2 ms verkürzt. Die b-Wellenlatenz war sowohl bei dem gesunden als auch bei dem erkrankten Auge bei den Messungen mit 5 dB und 10 dB im Vergleich zu der Messung bei 0 dB verlängert.

4 Ergebnisse

Tabelle 48: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	5,9	155
5	18,2	159
10	19,4	131

Tabelle 49: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd II, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	4,9	89,4
5	31,1	134
10	3,7	151

Die a-Wellenamplitude des gesunden Auges nahm bei den Messungen mit höherer Lichtintensität stetig zu. Die a-Wellenamplitude des erkrankten Auges erreichte ihren Maximalwert bereits bei der Messung mit 5 dB und nahm dann bei der Messung mit 10 dB deutlich ab, wobei das Messergebnis sogar unter dem Wert bei der Messung mit 0 dB lag.

Die b-Wellenamplitude des gesunden Auges erreichte ihren Maximalwert bei der Messung mit 5 dB. Bei dem erkrankten Auge nahm die b-Wellenamplitude mit steigender Lichtintensität kontinuierlich zu.

Pferd III wies an dem erkrankten Auge einen mittelgradig diffus getrüben Glaskörper mit eingelagerten Entzündungsprodukten auf. Die Linse war nahezu vollständig eingetrübt. Der Augeninnendruck betrug zum Messzeitpunkt 27 mmHg und die Pupille war dilatiert. An dem anderen Auge lag ebenfalls eine beginnende Katarakt jedoch kein erhöhter Augeninnendruck

4 Ergebnisse

(24 mmHg) und keine Veränderungen des Glaskörpers vor, weshalb dieses Auge als gesund eingestuft wurde.

Tabelle 50: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	12	31
5	18	41
10	15	37

Tabelle 51: Messergebnisse der Latenzzeiten der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
0	19	39
5	18	40
10	15	37

Die Latenzen der a-Welle des gesunden und des an Glaukom erkrankten Auges sind lediglich bei der Messung mit 0 dB voneinander verschieden. Bei der b-Welle des gesunden und des an Glaukom erkrankten Auges ist ebenfalls nur bei den Messungen mit 0 dB eine deutliche Verlängerung erkennbar. Die bei 5 und 10 dB gemessenen Latenzen sind annähernd konstant.

4 Ergebnisse

Tabelle 52: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des gesunden Auges von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten bei 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	15,9	110
5	20,9	122
10	41,7	187

Tabelle 53: Messergebnisse der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des an einem Glaukom erkrankten Auge von Pferd III, gemessen bei unterschiedlichen Lichtintensitäten und 1,3 Hz

Intensität [dB]	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
0	3,5	77,3
5	18,1	132
10	20,2	211

Die a- und b-Wellenamplituden des gesunden und des an Glaukom erkrankten Auges stiegen bei den Messungen mit höheren Lichtintensitäten stetig an und erreichten ihren Maximalwert bei den Messungen mit 10 dB.

4.5 Beeinflussung des ERGs durch Medientrüben als Folgeerscheinung einer Uveitis

Bei einem Pferd wurden 3 Wiederholungsmessungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorgenommen, um den Einfluss der Medientrüben zu überprüfen:

1. Messung: vor der Vitrektomie bei stark diffus getrübttem Glaskörper, in den zusätzlich wolkige Entzündungsprodukte eingelagert waren

4 Ergebnisse

2. Messung: vor der Vitrektomie (2 Tage nach der 1. Messung) bei geringgradig aufgeklartem Glaskörper
3. Messung: 2 Tage nach der Vitrektomie bei deutlich aufgeklartem Glaskörper

Es konnte eine Steigerung der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle beobachtet werden. Des Weiteren war eine Verlängerung der Latenzzeiten der a- und b-Welle zwischen der 1. und der 2. Messung zu beobachten, bei der 3. Messung waren die Latenzen jedoch wieder verkürzt.

Tabelle 54: Amplitudenwerte des an Uveitis erkrankten Pferdeauges mit unterschiedlich stark getrübttem Glaskörper in den Entzündungsprodukten eingelagerten waren, gemessen zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchten Auges) bei 1,3 Hz

Messung	a-Wellenamplitude	b-Wellenamplitude
1	4,7	23,8
2	5,03	30,7
3	7,16	36,1

Tabelle 55: Latenzzeiten eines an Uveitis erkrankten Pferdeauges mit unterschiedlich stark getrübttem Glaskörper, in den wolkige Entzündungsprodukte eingelagerten waren; gemessen zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

Messung	a-Wellenlatenz	b-Wellenlatenz
1	12	31
2	16	35
3	10	34

4.6 ERG – Messungen bei Dunkeladaptation

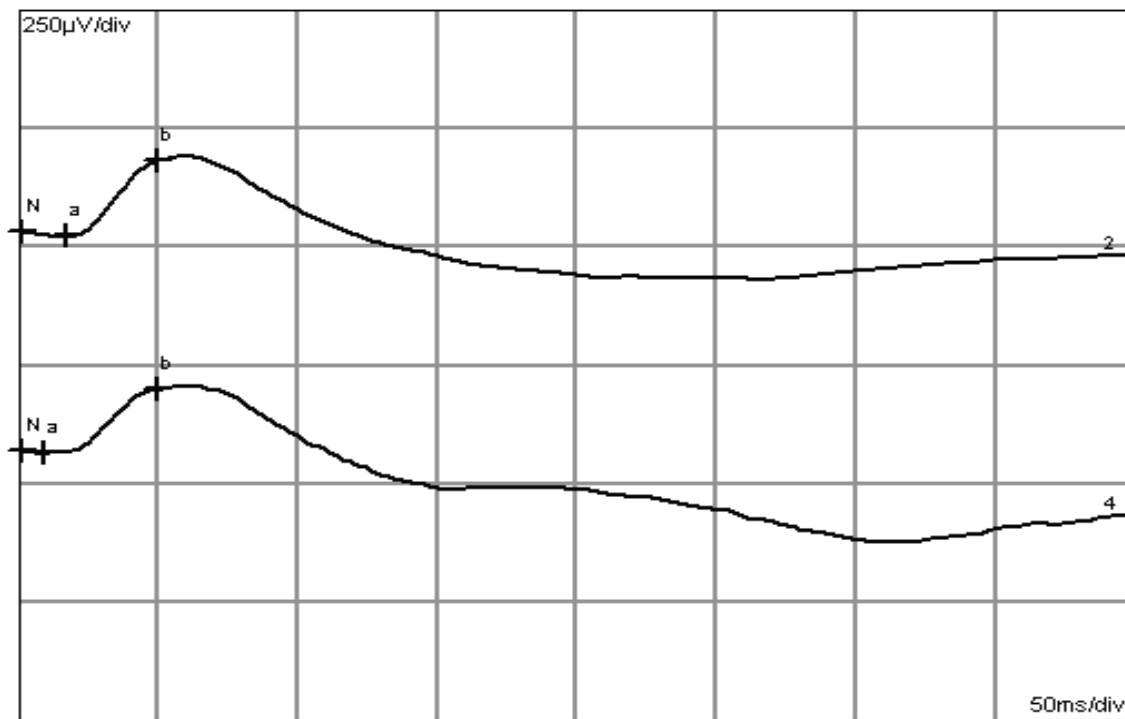
Bei den Messungen unter Dunkeladaptation wurde ein neu erstelltes Messprotokoll verwendet und dies bei zwei Pferden (Pferd I und Pferd II) getestet (siehe Kapitel 3.2). Pferd I wies laut Vorbericht im Laufe der letzten Monate zunehmende Unsicherheit sowie Orientierungsschwierigkeit bei Dämmerung und Dunkelheit auf. Am Tage zeigte das Pferd keine Verhaltensauffälligkeiten und es sollte überprüft werden, ob bei dem Patienten eine Nachtblindheit vorlag. Es handelte sich dabei um eine 12 Jahre alte Appaloosastute. Bei der ophthalmologischen Untersuchung waren beide Augen ophthalmologisch ohne besonderen Befund und die Ultraschalluntersuchung war ebenfalls unauffällig. Sowohl das rechte Auge (36,1 mm) als auch das linke Auge (37 mm) waren normal groß.

Bei Pferd II handelte es sich um einen ca. 6 Jahre alten Warmblutwallach aus der Klinik für Pferde der tierärztlichen Fakultät. Es wurden bei der ophthalmologischen Untersuchung keine Abweichungen von der Norm bemerkt und die gewonnenen Messergebnisse konnten als Referenzwerte herangezogen werden.

4 Ergebnisse

Pferd II

Amplitudenhöhe [μV]



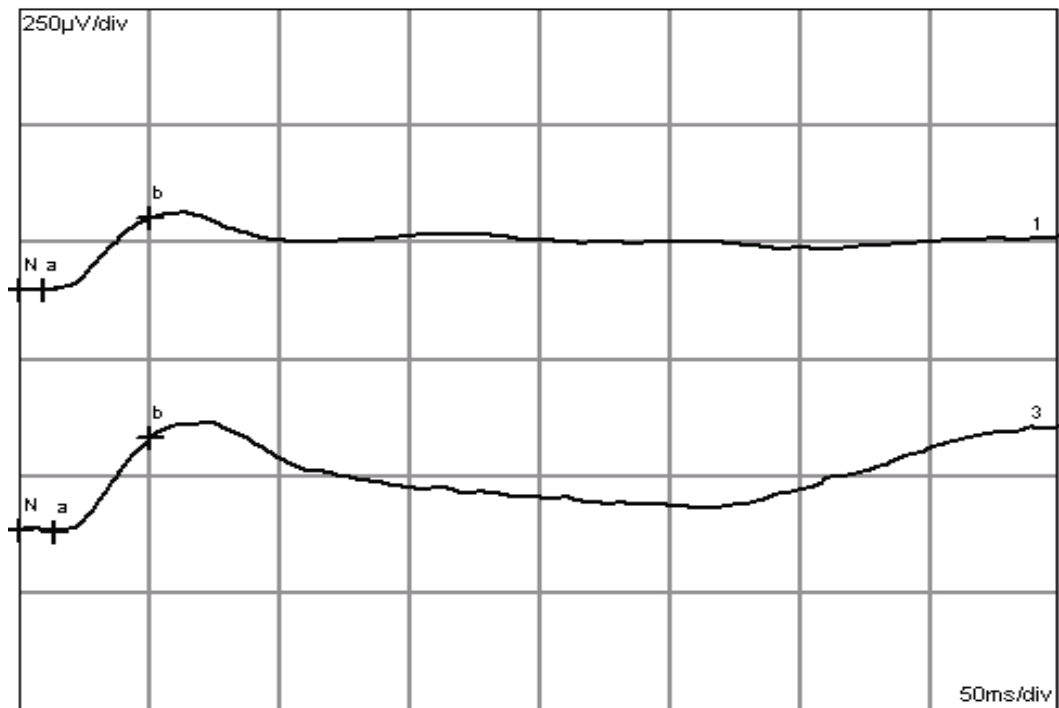
Zeit [ms]

Abbildung 27: skotopisches ERG des rechten Auges von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) bei Messschritt 1.2: Lichtintensität: - 20 dB bzw. 0,03 $\text{cd} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ Frequenz: 0,2 Hz ; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle

4 Ergebnisse

Pferd II

Amplitudenhöhe [μV]



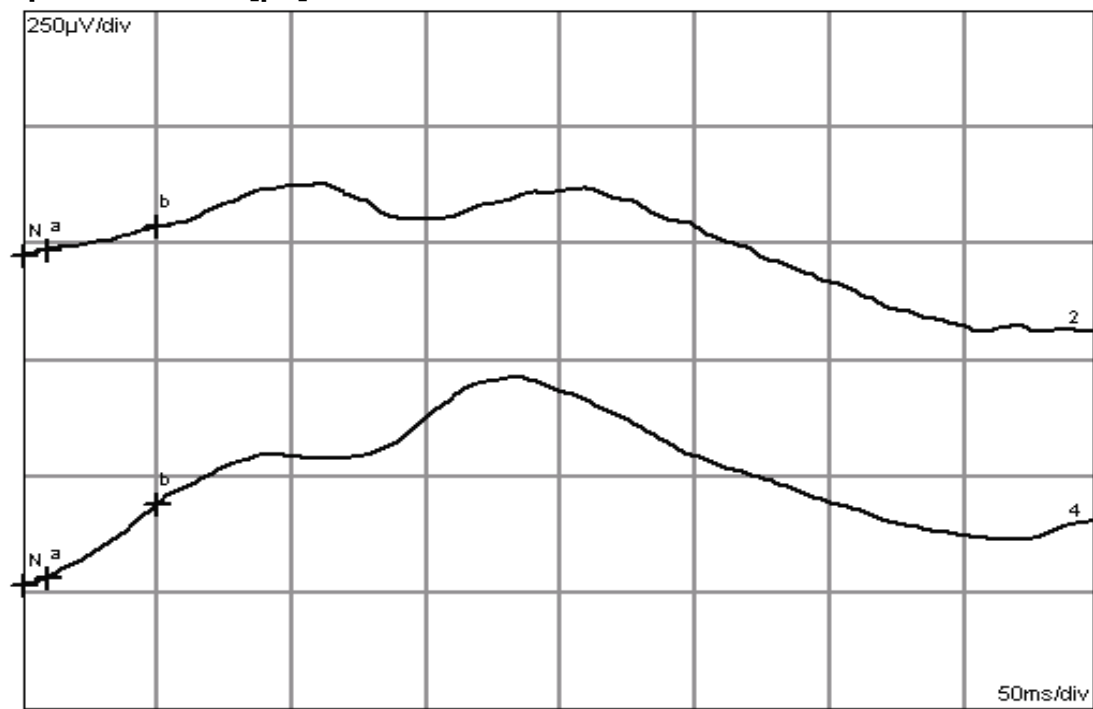
Zeit [ms]

Abbildung 28: skotopisches ERG des linken Auges von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) bei Messschritt 1.2 : Lichtintensität: - 20 dB bzw. 0,03 $\text{cd}\cdot\text{s}/\text{m}^2$; Frequenz: 0,2 Hz ; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle

4 Ergebnisse

Pferd I:

Amplitudenhöhe [μV]



Zeit [ms]

Abbildung 29: skotisches ERG bei Messschritt 1 des rechten Auges von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) bei Messschritt 1.2: Lichtintensität: - 20 dB, Frequenz 0,2 Hz; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle

4 Ergebnisse

Pferd I

Amplitudenhöhe [μV]

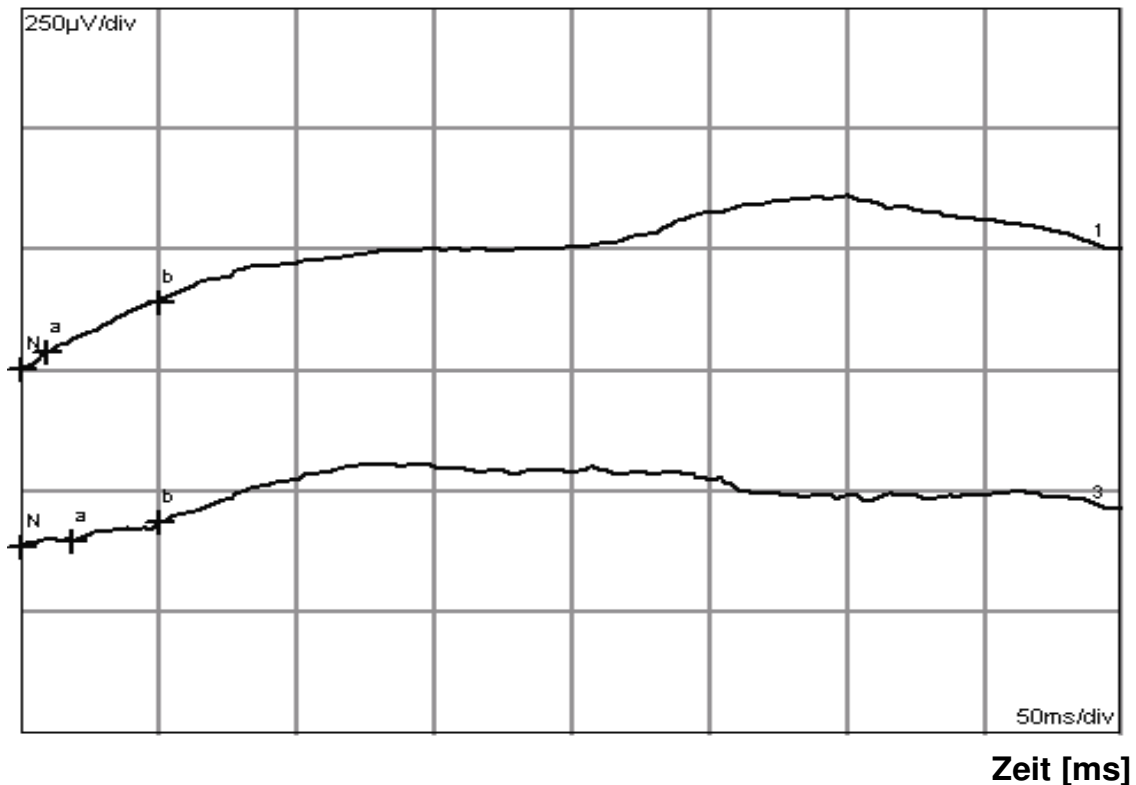


Abbildung 30: skotopisches ERG bei Messschritt 1 des linken Auges von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) bei Messschritt 1.2: Lichtintensität: - 20 dB, Frequenz: 0,2 Hz; a = Amplitudenmaximum der a-Welle, b = Amplitudenmaximum der b-Welle

Bei dem Vergleich der ERG-Kurven werden die erheblichen Unterschiede im Kurvenverlauf sichtbar: eine deutliche b-Welle, wie sie bei Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) sichtbar ist, fehlt bei Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit). Die Geräteeinstellung bedingt eine automatische Kurvenerkennung, weshalb auch für Pferd I in der Anzeige die Marker für die b-Welle gesetzt wurden, obwohl keine deutliche Welle erkennbar ist und dies auch bei der Auswertung der b-Wellenamplitude zu beachten ist.

4 Ergebnisse

Tabelle 56: Messergebnisse der Amplitudenhöhen und Latenzen der a- und b-Welle von Teil 1 des Messprotokolls bei Dunkeladaptation (mit 6 Messschritten pro Auge bei gleicher Geräteeinstellung, siehe Kapitel 3.2); Pferd I: mit Verdacht auf Nachtblindheit; Pferd II: ohne pathologische Veränderungen an den Augen

	Pferd I				Pferd II			
Schritt	a [ms]	b [ms]	a [μ V]	b [μ V]	a [ms]	b [ms]	a [μ V]	b [μ V]
1 rechts	9	50	35,5	106	9	50	0,4	110
1 links	9	50	13,1	51,2	17	50	7,8	97,9
2 rechts	19	50	11,2	38,5	13	50	7,2	223
2 links	9	50	16,1	156	9	50	7,9	198
3 rechts	9	50	24,3	84,7	9	50	7,1	189
3 links	9	50	32,5	115	19	50	7,2	131
4 rechts	9	45	2,1	16,8	19	50	1,5	176
4 links	9	38	14,8	56,9	13	50	2,9	187
5 rechts	9	41	5,7	55,5	11	50	2,7	175
5 links	9	24	2,8	36,7	19	50	13,2	164
6 rechts	20	50	6,5	12,4	20	50	3,1	154
6 links	9	50	10,2	41,5	17	50	3,9	166

a - Wellenamplitude [μV]

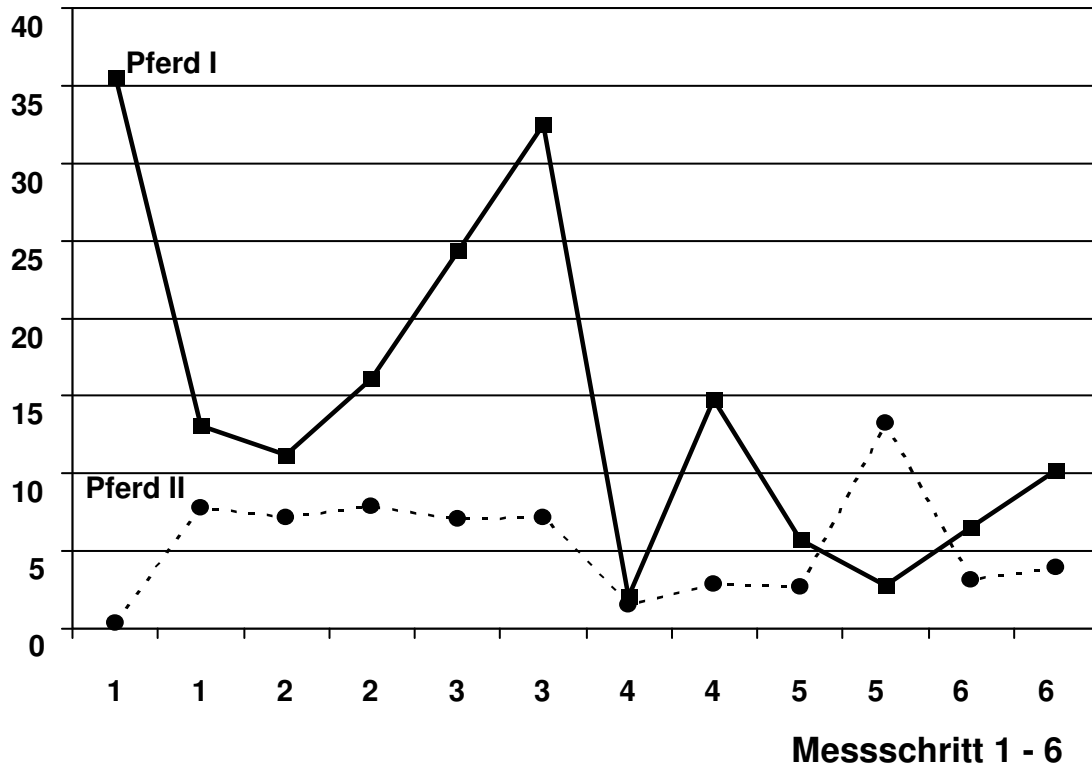


Abbildung 31: Liniendiagramm aus den Werten der Tabelle 56 der a-Wellenamplituden von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) und Pferd II (ohne pathologische Veränderungen an den Augen); Messschritt 1-6 mit jeweils 1 Messung pro Seite (links/rechts)

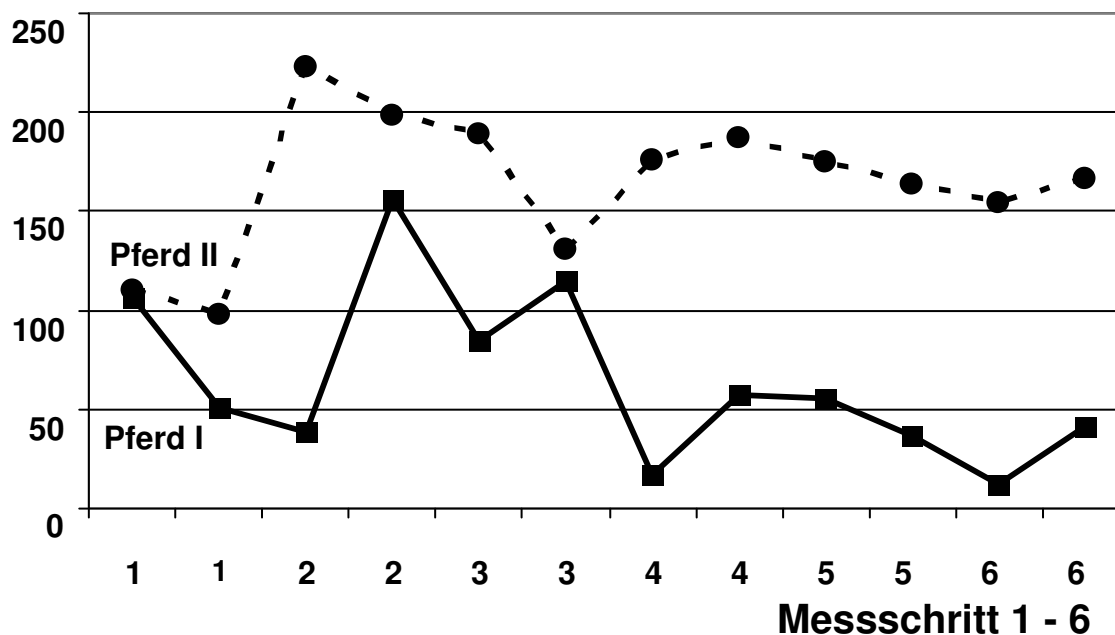
b - Wellenamplitude [μV]

Abbildung 32: Liniendiagramm aus den Werten der Tabelle 56 der b-Wellenamplituden von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) und Pferd II (ohne pathologische Abweichungen an den Augen); Messschritt 1-6 mit jeweils 1 Messung pro Seite (links/rechts)

Die a-Wellenamplitude liegt bei Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) im Vergleich zu den Werten von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), außer bei Messschritt 10 deutlich im unteren Wertebereich. Die Differenzen schwanken zwischen in einem Bereich von 3 μV bis zu 35,1 μV .

Die b-Wellenmaxima sind bei den einzelnen Messschritten bei Pferd II deutlich höher (meist über das Doppelte) als bei Pferd I, wobei dieses Ergebnis aufgrund der automatischen Markersetzung durch das Gerät nur unter Vorbehalt zu interpretieren ist.

4 Ergebnisse

Tabelle 57: Messergebnisse der Latenzen der a- und b-Welle der linken Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB

Messschritt	Pferd	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
1. skotopisches Stäbchen-ERG bei -20 [dB]	II	15,7	50
	I	9,0	43,7
2. Flicker-ERG (Stäbchen) bei -20 [dB]	II	19	49
	I	9	49
3. skotopisches Kombinations-ERG bei 0 [dB]	II	16	41
	I	30	10
4. photopisches ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	12	29
	I	18	31
5. Photopisches Flicker-ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	15	28
	I	20	29
6. Photopisches ERG bei 5 [dB]	II	23	20
	I	24	35
7. Photopisches ERG bei 10 [dB]	II	25	37,2
	I	29	38

4 Ergebnisse

Tabelle 58: Messergebnisse der Latenzen der a- und b-Welle der rechten Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB

Messschritt	Pferd	a-Wellenlatenz [ms]	b-Wellenlatenz [ms]
1. skotopisches Stäbchen-ERG bei -20 [dB]	II	13,5	50
	I	12,5	47,7
2. Flicker-ERG (Stäbchen) bei -20 [dB]	II	17,6	24
	I	9	31
3. skotopisches Kombinations-ERG bei 0 [dB]	II	16	40
	I	30	10
4. photopisches ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	16	29
	I	22	33
5. Photopisches Flicker-ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	15	28
	I	19	35
6. Photopisches ERG bei 5 [dB]	II	23	20
	I	24	35
7. Photopisches ERG bei 10 [dB]	II	24	34
	I	28	36

4 Ergebnisse

Tabelle 59: Messergebnisse der Amplitudenhöhe der a- und b-Welle der linken Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB

Messschritt	Pferd	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
1. skotopisches Stäbchen-ERG bei -20 [dB]	II	7,2	157,3
	I	15	76,2
2. Flicker-ERG (Stäbchen) bei -20 [dB]	II	27,6	135
	I	6,4	63,8
3. skotopisches Kombinations- ERG bei 0 [dB]	II	54	309
	I	142	127
4. photopisches ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	9,8	144
	I	6,0	101
5. Photopisches Flicker-ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	15	28
	I	20	29
6. Photopisches ERG bei 5 [dB]	II	49,2	85,2
	I	12,9	56,7
7. Photopisches ERG bei 10 [dB]	II	77	88,1
	I	74	59,4

4 Ergebnisse

Tabelle 60: Messergebnisse (Teil 1 - 6 des Untersuchungsprotokolls unter Dunkeladaptation) der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle der rechten Augen von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) und Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit), aufgelistet nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Untersuchungsprotokoll bei Dunkeladaptation sowie 2 zusätzlichen Messungen bei Helladaptation bei 5 und 10 dB

Messschritt	Pferd	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
1. skotopisches Stäbchen- ERG bei -20 [dB]	II	3,7	171,2
	I	14,2	52,3
2. Flicker-ERG (Stäbchen) bei -20 [dB]	II	72,5	79
	I	49,4	53,7
3. skotopisches Kombinati- ons-ERG bei 0 [dB]	II	88,7	268
	I	106	90,1
4. photopisches ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	31	99,6
	I	70,5	72,9
5. Photopisches Flicker-ERG (Zapfen) bei 0 [dB]	II	42,3	72,4
	I	15,3	66,7
6. Photopisches ERG bei 5 [dB]	II	36,1	77,5
	I	56,1	83,4
7. Photopisches ERG bei 10 [dB]	II	67	85,2
	I	73,3	64,5

Die Ergebnisse der a-Wellenamplituden sind bei Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) bei fast allen Messschritten außer bei 2 und 5 teilweise deutlich niedriger als bei Pferd I. Die Ergebnisse der b-Wellenamplituden sind bei Pferd II (ohne pathologische Abweichungen) bei

4 Ergebnisse

fast allen Messschritten (außer 6) deutlich höher als die bei Pferd I (Verdacht auf Nachtblindheit).

In der folgenden Tabelle sind die absoluten Differenzen der Messergebnisse (Teil 1 des Untersuchungsprotokolls mit 6 Wiederholungsmessungen) der Amplitudenhöhen von Pferd II und Pferd I aufgelistet.

Tabelle 61: Absolute Differenz der Amplitudenhöhen der a-Welle und der b-Welle: Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) minus Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit); Messergebnisse von Teil 1 des Messprotokolls: 12 Wiederholungsmessungen in 4-minütigen Abstand bei zunehmender Dunkeladaptationszeit (siehe Kapitel 3.2)

Schritt	a-Wellenamplitude [μV]	b-Wellenamplitude [μV]
1 rechts	- 35,1	4
1 links	- 5,3	46,7
2 rechts	- 4	184,5
2 links	- 8,2	42
3 rechts	- 17,2	104,3
3 links	- 25,3	16
4 rechts	- 0,6	159,2
4 links	- 11,9	130,1
5 rechts	- 3	119,5
5 links	10,4	127,3
6 rechts	- 3,4	141,6
6 links	- 6,3	124,5

Die Amplitude der b-Welle von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) ist im Vergleich zu den Normwerten von Pferd II (ohne pathologische Abweichungen am Auge) bei allen Messschritten deutlich reduziert. Der geringe Messunterschied bei der b-Wellenamplitude von nur $4 \mu\text{V}$ von Pferd II zu Pferd I (bei Messschritt 1) liegt wahrscheinlich daran, dass zu Beginn der Messungen die Augen noch nicht ausreichend dunkeladaptiert waren und die Symptome der Nachtblindheit nicht wirklich in Erscheinung traten. Im Laufe der weiteren Untersuchungs-

4 Ergebnisse

schritte und somit auch zunehmender Adaptationsphase der Augen wird die starke Reduktion der b-Welle bei Pferd I im Vergleich zu Pferd II deutlich.

4.7 ERG bei Pferden ohne ophthalmologisch erkennbare pathologische Veränderungen der Augen

Bei Pferde, die nur an einem Auge Veränderungen im Sinne einer Uveitis oder eines Glaukoms aufwiesen, wurden die Augen ohne pathologische Abweichungen als gesund eingestuft und als Referenzwerte herangezogen. Bei der ophthalmologischen Untersuchung wurden diese Augen bei der in Kapitel 3.7 beschriebenen Nominalstatistik bei den einzelnen Parametern mit „0 = keine pathologischen Abweichungen“ bewertet und im Folgenden in der entsprechenden Untergruppe als „gesund“ in den Tabellen aufgelistet. In der Untersuchungsgruppe Uveitis I waren dies 44 gesunde Pferdeaugen und in der Untersuchungsgruppe Uveitis II waren es 22 gesunde Pferdeaugen (gesamt: 66 gesunde Pferdeaugen). In der Untersuchungsgruppe Glaukom I wurden pro Untersuchungsgruppe (Glaukom I und Glaukom II) 10 gesunde Pferdeaugen gemessen (gesamt: 20 gesunde Pferdeaugen).

Tabelle 62: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude [μV]	44	8,1	5,3	6,7	1	18,4
b-Wellenamplitude [μV]	44	77,8	25,9	73,9	14,1	144
a-Wellenlatenz [ms]	44	13,9	2,6	14	10	24
b-Wellenlatenz [ms]	44	29,3	3,6	28,5	26	50

4 Ergebnisse

Tabelle 63: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 28 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	44	41,5	38,3	16,9	2,7	81,1
P1 [ms]	44	15,9	6,6	14,8	1,2	30,2
N1-P1 [ms]	44	15,6	2,2	15	11	20
28 Hz [μ V]	44	26,7	2,7	27	15	30

Tabelle 64: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude [μ V]	10	8	3,7	7,4	3,3	13
b-Wellenamplitude [μ V]	10	66	23,5	67,1	25,9	99,8
a-Wellenlatenz [ms]	10	14,4	1,4	14,5	11	16
b-Wellenlatenz [ms]	10	28,5	1,2	28,5	27	31

4 Ergebnisse

Tabelle 65: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 28 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	10	35,7	9,7	34,8	15	47
P1 [ms]	10	13,4	3,9	13,5	7,7	20,9
N1-P1 [ms]	10	14,6	2,4	14,5	9	18
28 Hz [μ V]	10	27	0,7	27	26	28

Tabelle 66: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Veränderungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude [μ V]	22	13,9	9,8	13	0,83	42,6
b-Wellenamplitude [μ V]	22	146,5	43,2	151,5	29,5	212
a-Wellenlatenz [ms]	22	13,5	1,8	14	10	18
b-Wellenlatenz [ms]	22	28,2	1,5	28	26	33

4 Ergebnisse

Tabelle 67: Messergebnisse gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne einer Uveitis) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	22	84,4	25	89,6	30	120
P1 [ms]	22	31,2	9,2	34,5	12,2	43
N1-P1 [ms]	22	14,4	1,5	14,5	12	18
28 Hz [μ V]	22	26,5	0,74	26	26	29

Tabelle 68: Messergebnisse der Messungen gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude [μ V]	10	22	23,9	17,6	1,8	87
b-Wellenamplitude [μ V]	10	142	45,5	148,5	48,6	206
a-Wellenlatenz [ms]	10	13,6	1,6	14	10	15
b-Wellenlatenz [ms]	10	29,4	1,4	29	28	32

4 Ergebnisse

Tabelle 69: Messergebnisse der Messungen gesunder Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen im Sinne eines Glaukoms) der Untersuchungsgruppe Glaukom II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	10	73,3	27,5	78,7	26,7	101
P1 [ms]	10	29	11,2	30,6	10,8	42,3
N1-P1 [ms]	10	15,2	2	15	12	19
28 Hz [μ V]	10	27,2	0,9	27	26	29

4.8 ERG bei Pferden mit pathologischen Veränderungen am Auge im Sinne einer Uveitis

Insgesamt wurden bei 102 Pferdeaugen, bei denen bei 38 Augen Veränderungen im Sinne einer Uveitis festgestellt wurde, ein ERG am erkrankten und ein ERG am gesunden Auge abgeleitet. Aufgrund der in Kapitel 4.1 beschriebenen Differenzen der Messergebnissen bei unterschiedlicher Elektrodenplatzierung werden die Resultate hier getrennt nach der Messmethodik dargestellt. Bei Methode I befand sich die Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges, bei Messmethode II wurde sie ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges unter die Haut gestochen.

In der Untersuchungsgruppe Uveitis I wurde bei 44 gesunden Pferdeaugen ein ERG nach Messmethode I abgeleitet. Die Pferdeaugen ohne pathologische Abweichungen wurden als „gesund“ eingestuft und dienen als Referenzwerte (siehe Kapitel 4.7). In der Untersuchungsgruppe Uveitis I wurden bei 20 Pferdeaugen Veränderungen im Sinne einer Uveitis festgestellt und ein ERG nach Messmethode I abgeleitet.

4 Ergebnisse

4.8.1 Basisstatistik bei Messungen mit 1,3 Hz und 28 Hz bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Uveitis I)

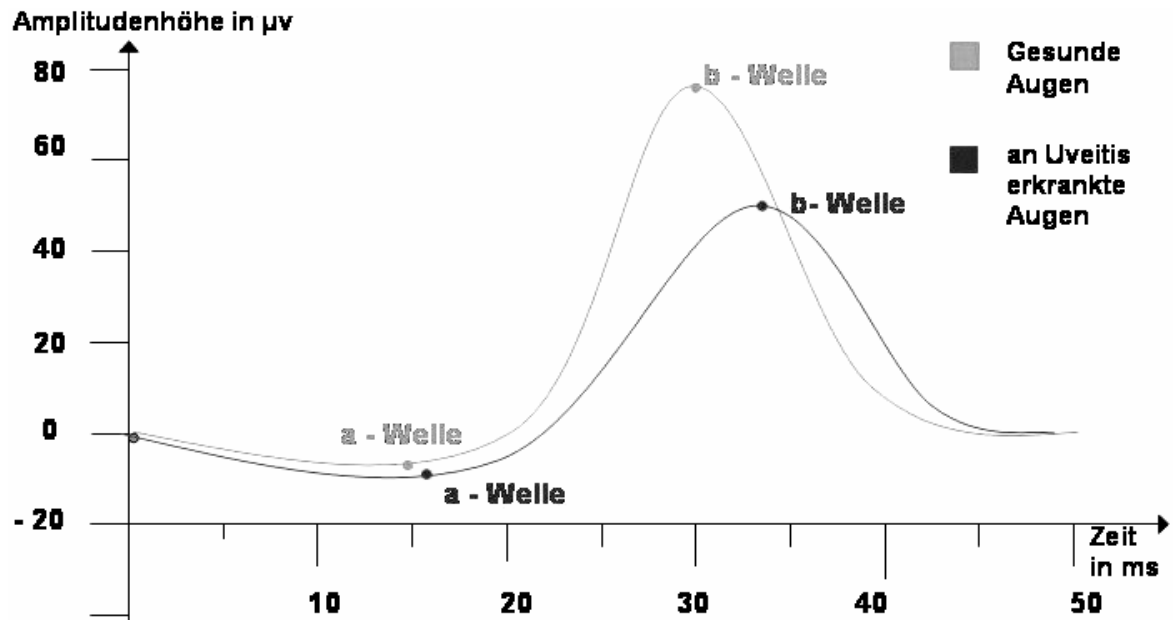


Abbildung 33: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Uveitis erkrankter Augen; gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

Tabelle 70: Messergebnisse bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude [µV]	20	13,4	11,7	10,9	2	50,1
b-Wellenamplitude [µV]	20	45,6	17	51,2	13	70,2
a-Wellenlatenz [ms]	20	15,7	3,7	15,5	10	23
b-Wellenlatenz [ms]	20	33,3	7,2	32	22	50

Tabelle 71: Messergebnisse bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis I, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 28 Hz

Messgröße	Anzahl	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	20	31,1	17	28,5	2,7	66
P1 [ms]	20	14,4	17,7	10	0,3	69,1
N1-P1 [ms]	20	17,4	4,6	17,5	11	30
28 Hz [µV]	20	28,4	5,9	29,5	15	44

4.8.2 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersuchungsgruppe Uveitis I)

Vor den elektroretinographischen Messungen wurden die Pferde ophthalmologisch untersucht und die Erkrankungsmerkmale dokumentiert. Die Bewertung der Veränderungen an den Augenstrukturen erfolgte nach dem in Kapitel 3.7 aufgeführten Schema. Die Messergebnisse der Pferdeaugen, die bei dem Parameter: subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VI) mit 4 bewertet wurden (12 Pferdeaugen), konnten nicht in die Auswertung miteinbezogen werden.

4 Ergebnisse

Tabelle 72: Vorkommen von Glaskörpertrübungen (I) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Trübungen	0	1	2	3	4	5	gesamt
Anzahl	40	9	4	10	1	12	76
Prozent	52,6	11,8	5,3	13,2	1,3	15,8	100,0

Tabelle 73: Vorkommen von Glaskörpereinlagerungen (II) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Einlagerung	0	1	2	3	4	5	gesamt
Anzahl	38	12	3	10	1	12	76
Prozent	50,0	15,8	3,9	13,2	1,3	15,8	100,0

Tabelle 74: Geschätzte Pupillenweite (III) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Pupillenweite	1	2	3	4	fehlend	gesamt
Anzahl	8	8	38	20	2	76
Prozent	10,5	10,5	50,0	26,3	2,6	100,0

Tabelle 75: Verwendete Sedierung (IV) bei der elektroretinographischen Messung

Sedierung	1	2	fehlend
Anzahl	32	40	4
Prozent	42,1	52,6	5,3

Tabelle 76: Vorkommen von Linsentrübungen (V) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Linsentrübung	0	1	2	3	gesamt
Anzahl	32	22	10	12	76
Prozent	42,1	28,9	13,2	15,8	100,0

4 Ergebnisse

Tabelle 77: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VII) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Sehfähigkeit	0	1	2	3	4	fehlend
Anzahl	44	6	5	9	10	2
Prozent	57,9	7,9	6,6	11,8	13,2	2,6

4.8.3 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis I)

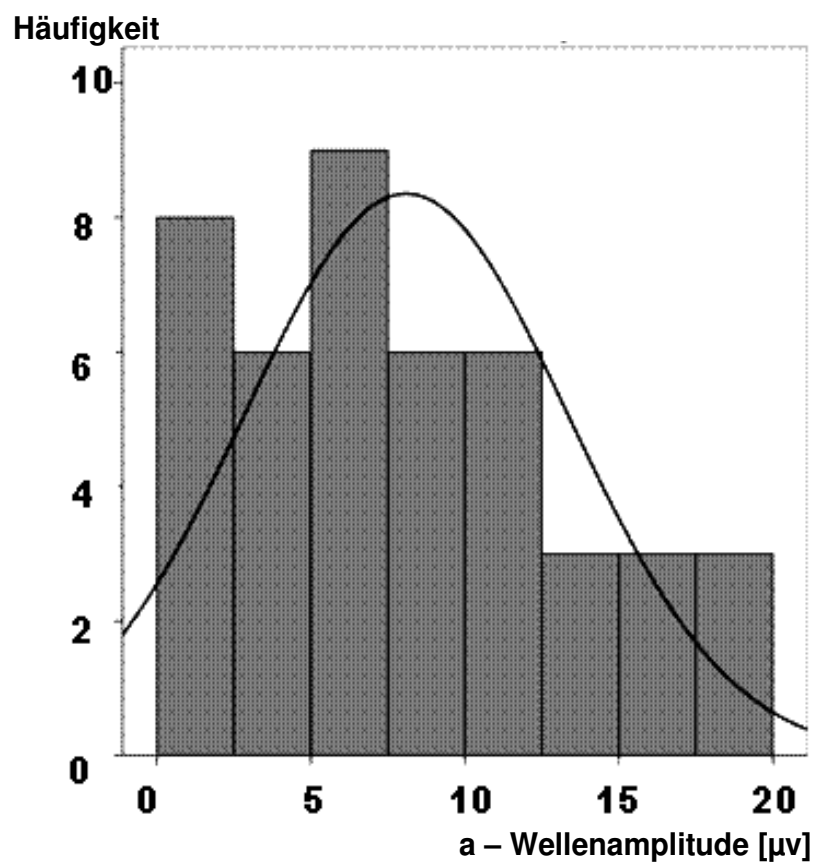


Abbildung 34: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (ohne pathologische Abweichungen) gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

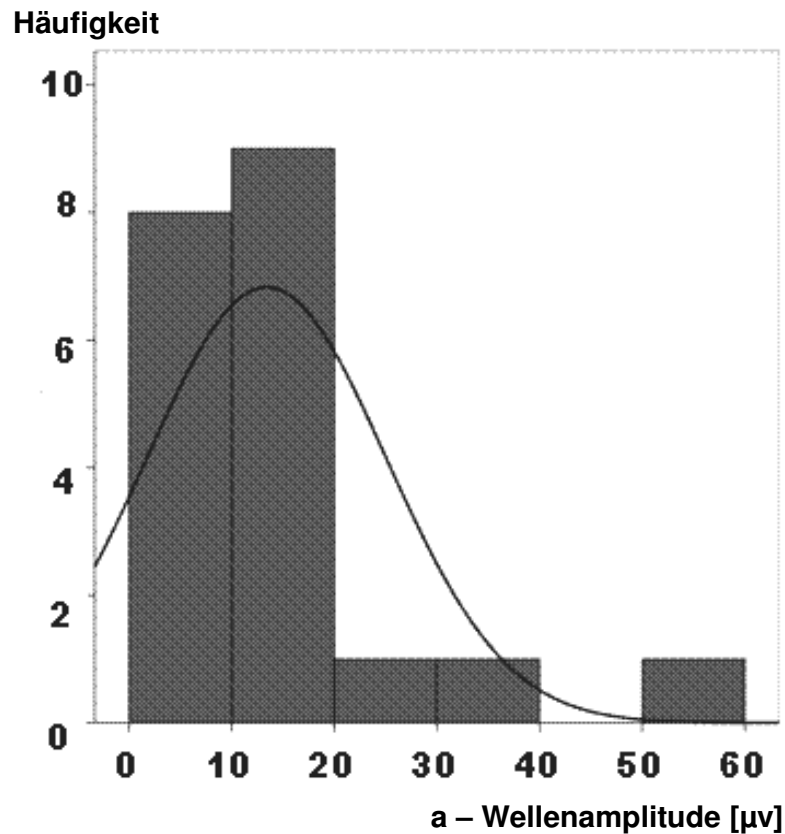


Abbildung 35: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologischen Abweichungen) gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Bei der Amplitudenhöhe der a-Welle liegt weder bei den gesunden noch bei den erkrankten Augen im Histogramm eine Normalverteilung vor. Die gesunden Augen weisen eine bimodale Verteilung vor, wobei das Zentrum deutlich im Bereich der niederen Amplitudenwerte angesiedelt ist. Bei gesunden Augen beträgt der Mittelwert (\bar{x}) für die a-Wellenamplitude 8,1 µV (SD ± 5,3) und bei kranken Augen 13,4 µV (SD ± 11,7). Trotz der Asymmetrie (linkssteil/rechtsschief) gibt es bei dem Histogramm der gesunden Augen keine deutlichen Ausreißer.

4 Ergebnisse

Das Histogramm der kranken Augen ist unimodal und der Hauptteil seiner Werte liegt zwischen 0 - 20 μ V. Bei dieser Auswertung wurden alle erkrankten Augen, unabhängig vom Erkrankungsstatus zusammengefasst wurden (mit Ausnahme der erblindeten Augen, bei denen nach der klinischen Untersuchung keine Sehfähigkeit mehr zu erwarten war), was in der deutlich höheren Standardabweichung resultiert.

Tabelle 78: Vergleich der Amplitudenhöhe der a-Welle bei Pferdeaugen mit (krank) und ohne pathologische Abweichungen (gesund) im Sinne einer Uveitis, gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

gesund		krank
6,7	Median	10,9
1	Min	2
18,4	Max	50,1
8,1	\bar{x}	13,4
5,3	SD	11,7

4 Ergebnisse

4.8.4 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis I)

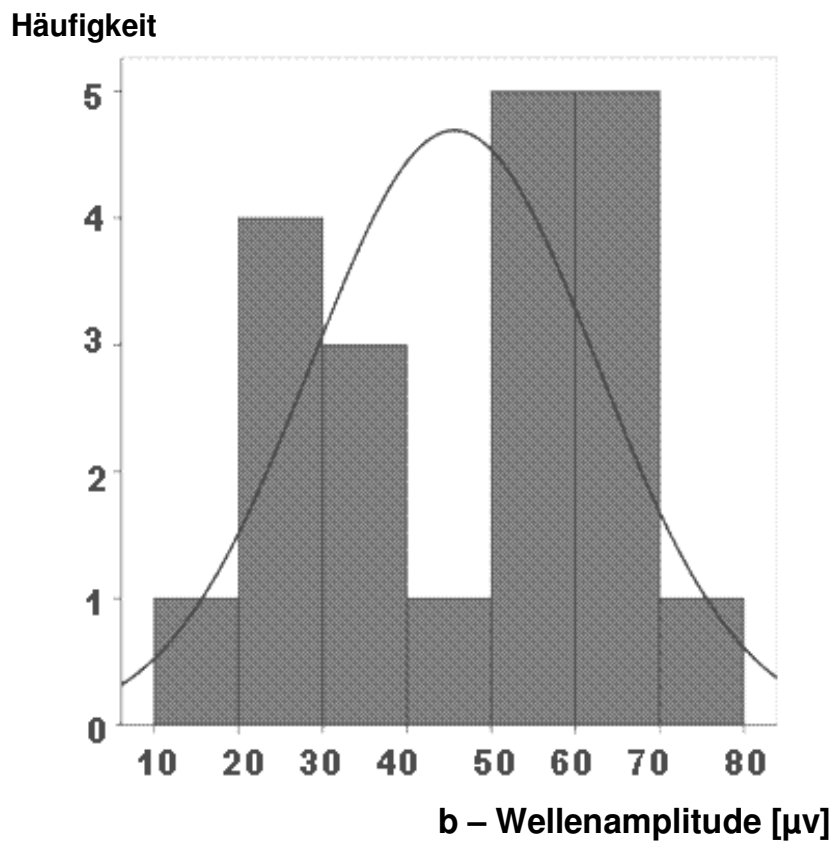


Abbildung 36: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen, nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Die Amplitudenhöhen der b-Welle der gesunde Augen liegen mit einem Mittelwert von $(\bar{x}) = 77,8 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 25,9$) deutlich über dem der an Uveitis erkrankten Augen mit einem Mittelwert von $\bar{x} = 45,6 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 17$).

4 Ergebnisse

Tabelle 79: Vergleich der Amplitudenhöhe der b-Welle kranker und gesunder Augen gemessen nach Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

gesund		Krank
73,9	Median	51,2
14,1	Min	13
144	Max	70
77,8	\bar{x}	45,6
25,9	SD	17

4 Ergebnisse

4.8.5 Latenzen bis zum Erreichen der maximalen a-Wellenamplitude bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis I)

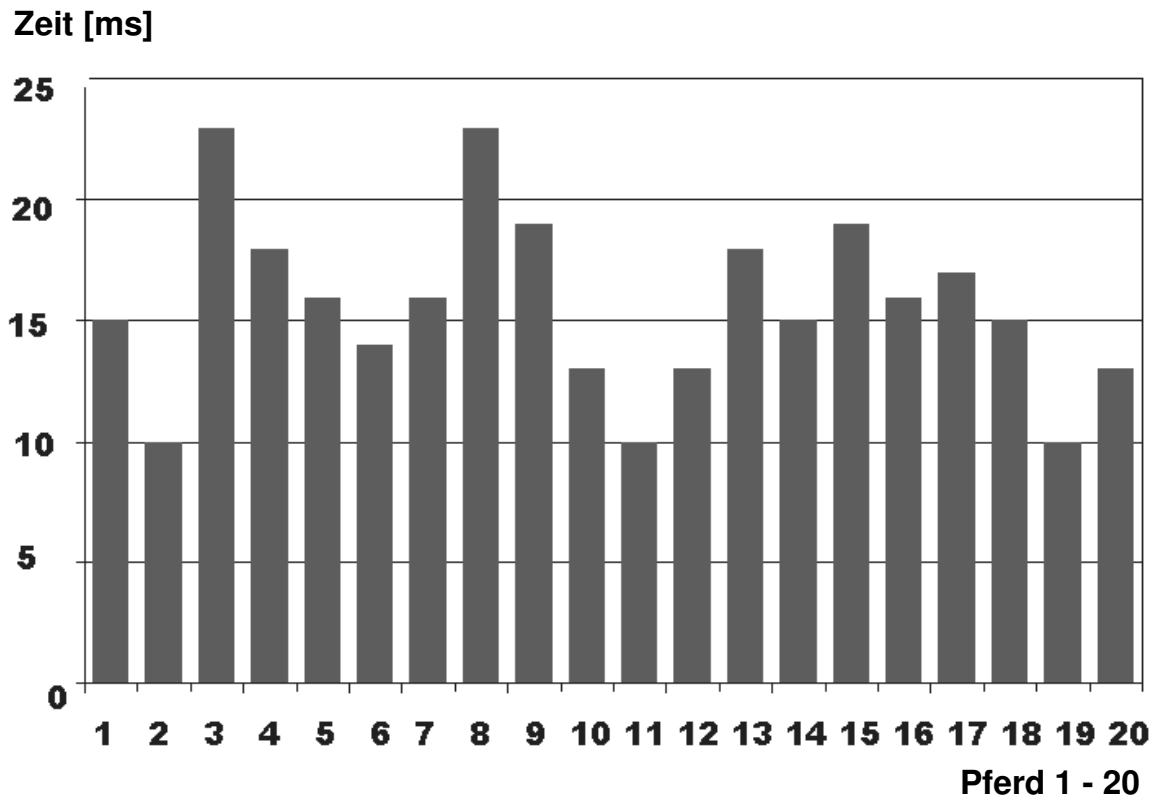


Abbildung 37: Säulendiagramm der Latenzen der a-Welle, gemessen bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen bei 1,3 Hz

Die Werte liegen bei den gesunden Augen relativ gleichmäßig verteilt zwischen 10-16 ms, mit zwei Ausreißern bei 21 und 24 ms. Das multipolare Säulendiagramm der erkrankten Augen weist keine Regelmäßigkeit auf.

4 Ergebnisse

Tabelle 80: Vergleich der Latenzen der a-Welle kranker und gesunder Augen gemessen nach Methode I und 1,3 Hz

gesund		krank
14	Median	15,5
10	Min	10
24	Max	23
13,9	\bar{x}	15,7
2,6	SD	3,7

Die Zeitspanne bis zum Erreichen der a-Wellenamplitude ist bei den erkrankten Augen im Vergleich zu den gesunden Augen im Mittelwert um 1,5 ms verlängert. Die erhöhte Standardabweichung bei den erkrankten Augen ist darauf zurückzuführen, dass hier alle erkrankten Augen, unabhängig vom Erkrankungsstatus zusammen betrachtet wurden und es in dieser Gruppe deutlichere Unterschiede in der Latenzzeit gibt.

Tabelle 81: Vergleich der Latenzen der b-Welle kranker und gesunder Augen gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

gesund		krank
28,5	Median	32
26	Min	22
50	Max	50
29,3	\bar{x}	33,2
3,6	SD	7,2

Die meisten Werte der gesunden Augen liegen, mit Ausnahme eines Ausreißers (50 ms) zwischen 25 - 32 ms. Das Säulendiagramm der erkrankten Augen ist multipolar und weist mehr Ausreißer als das der gesunden Pferdeaugen auf.

4 Ergebnisse

4.8.6 Basisstatistik bei Messungen mit 1,3 Hz und 28 Hz bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Uveitis II)

In dieser Gruppe wurde bei 19 Pferden ein ERG abgeleitet. Die Referenzelektrode wurde ungefähr 2 Zentimeter kaudal vom lateralen Augenkantus entfernt eingestochen.

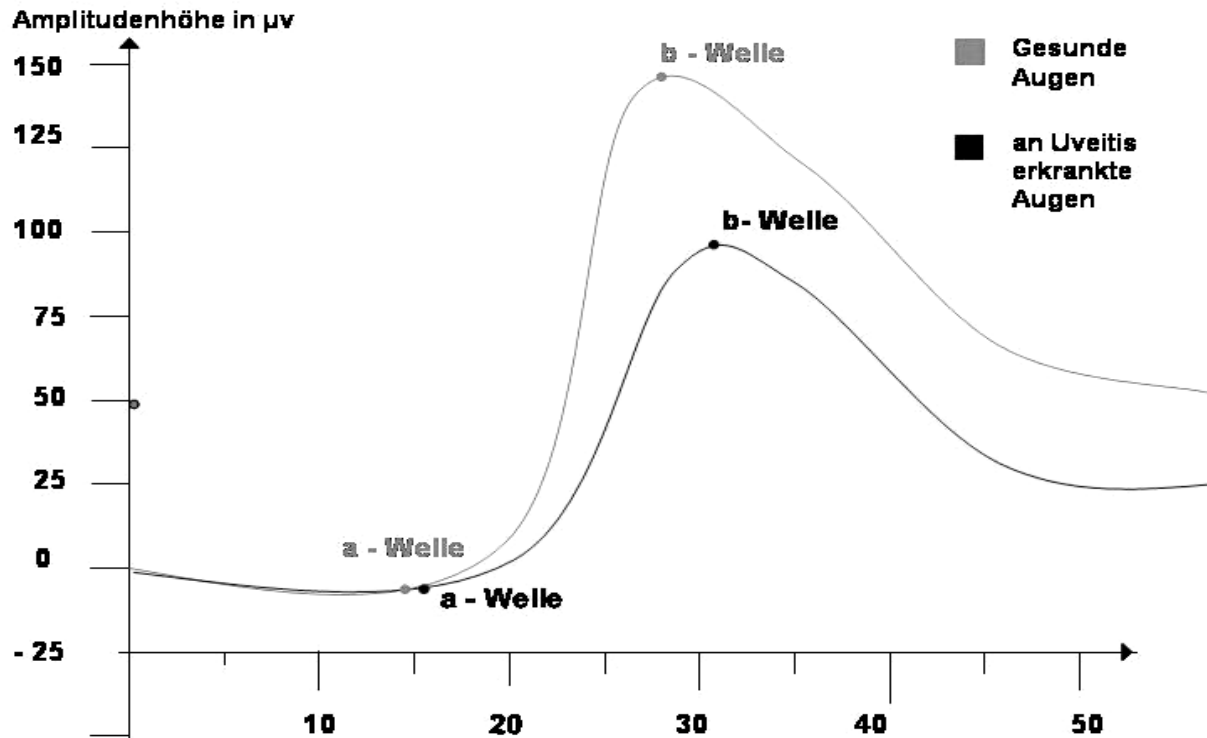


Abbildung 38: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Uveitis erkrankter Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

Tabelle 82: Messergebnisse in μV bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) und 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	fehlend	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude	16	0	13,9	8	13	2,3	29,3
b-Wellenamplitude	16	0	95,4	48,8	93,8	33,9	176
a-Wellenlatenz	16	0	15,1	1,8	14	13	20
b-Wellenlatenz	16	0	30,8	5,6	29	26	50

Tabelle 83: Messergebnisse bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (mit pathologische Abweichungen) der Untersuchungsgruppe Uveitis II, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz

Messgröße	Anzahl	fehlend	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	16	0	55,1	30,2	56	6	107
P1 [ms]	16	0	22	12	23,6	3,3	40,8
N1-P1 [ms]	16	0	14,4	3,2	13,5	9	20
28 Hz [μV]	16	0	26,7	3,2	27	15	29

4.8.7 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersuchungsgruppe Uveitis II)

Vor den elektroretinographischen Messungen wurden die Pferde ophthalmologisch untersucht und die Erkrankungsmerkmale dokumentiert. Die Bewertung der Veränderungen an den Augenstrukturen erfolgte nach dem in Kapitel 3.7 aufgeführten Schema. Die Messergebnisse der Pferdeaugen, die bei dem Parameter: subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VI) mit 4 bewertet wurden (4 Pferdeaugen), konnten nicht in die Auswertung miteinbezogen werden.

4 Ergebnisse

Tabelle 84: Vorkommen von diffusen Glaskörpertrübungen (I) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II

Trübungen	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	28	3	3	2	0	5	1	42
Prozent	66,7	7,1	7,1	4,8	0	11,9	2,4	100,0

Tabelle 85: Vorkommen von wolkigen Glaskörpereinlagerungen (II)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II

Einlagerung	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	25	5	4	0	1	6	1	42
Prozent	59,5	11,9	9,5	0	2,4	14,3	2,4	100,0

Tabelle 86: Geschätzte Pupillenweite (III)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II

Pupillenweite	1	2	3	4	fehlend	gesamt
Anzahl	7	2	12	21	0	42
Prozent	16,7	4,8	28,6	50	0	100,0

Tabelle 87: Verwendete Sedierung (IV) bei der elektroretinographischen Messung

Sedierung	1	2	fehlend	gesamt
Anzahl	14	24	4	42
Prozent	33,3	57,1	9,5	100,0

Tabelle 88: Vorkommen von Linsentrübungen (V)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II

Linsentrübung	0	1	2	3	Gesamt
Anzahl	23	12	3	1	42
Prozent	54,8	28,6	7,1	2,4	100,0

4 Ergebnisse

Tabelle 89: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VI) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode II

Sehfähigkeit	0	1	2	3	4	fehlend	gesamt
Anzahl	22	12	3	1	3	1	42
Prozent	52,4	28,6	7,1	2,4	7,1	2,4	100,0

4.8.8 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis II)

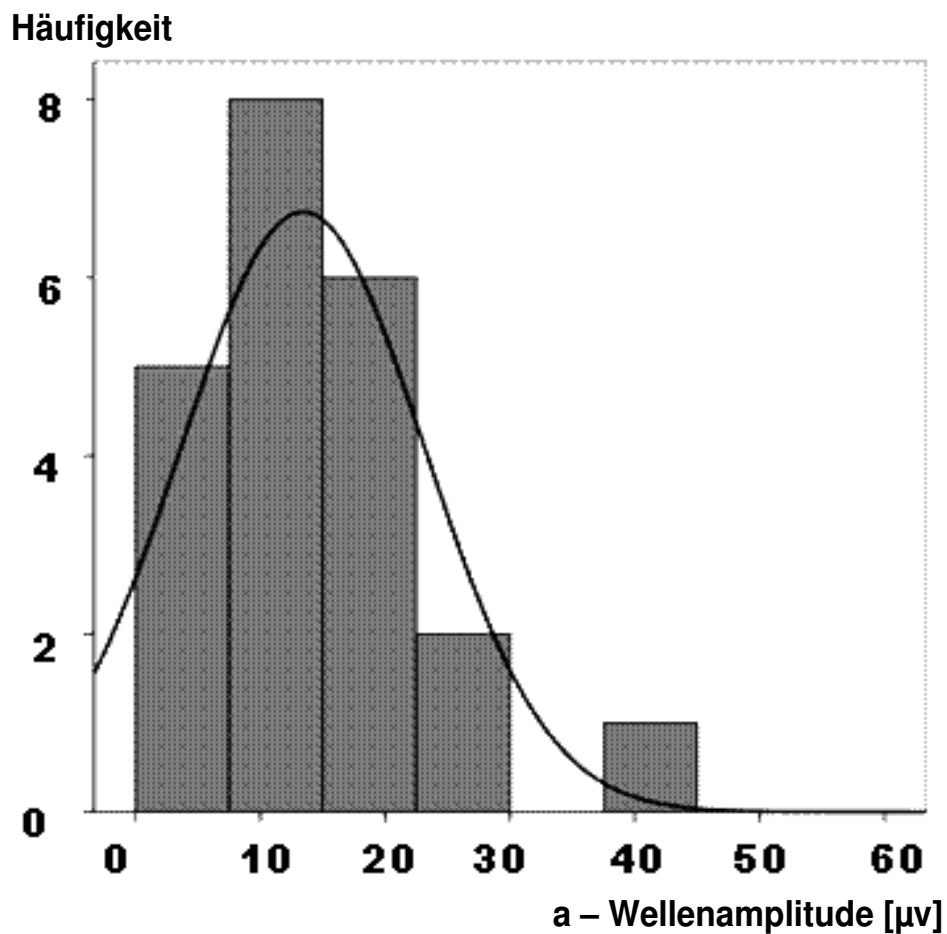


Abbildung 39: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Uveitis II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

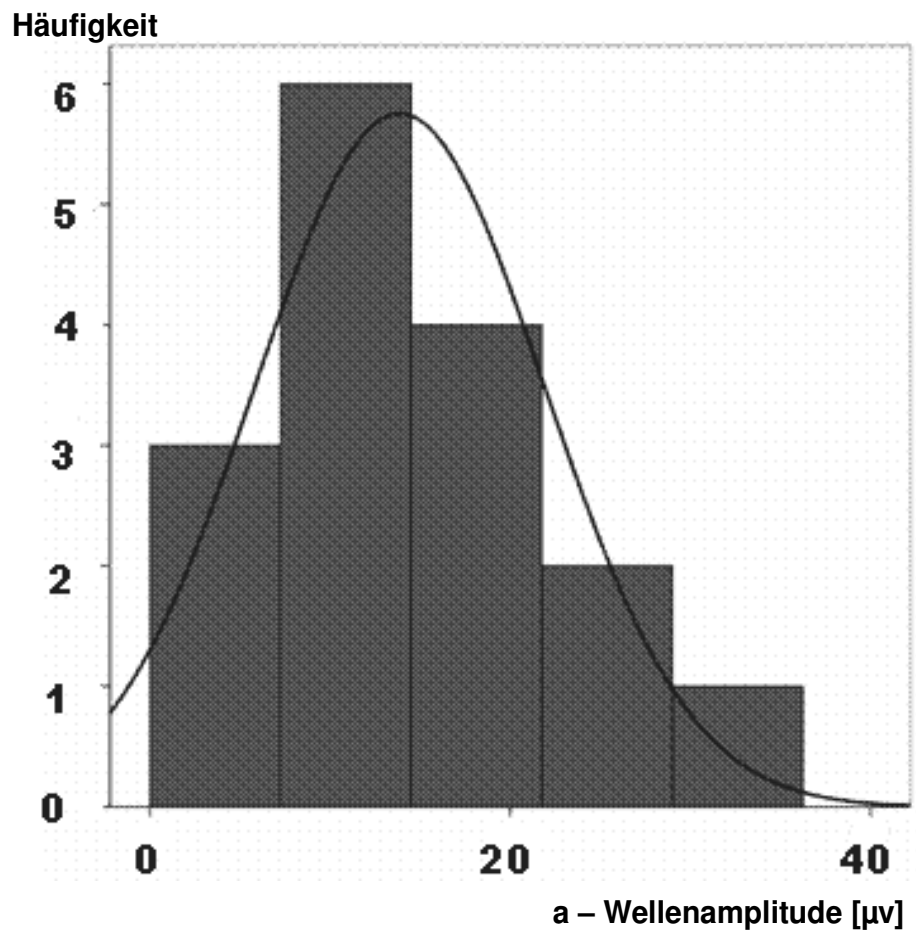


Abbildung 40: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

Die Verteilung der a-Wellenamplitudenwerte kommt sowohl bei den gesunden als auch bei den kranken Augen einer Normalverteilung nahe. Die gesunden Augen weisen eine unimodale Verteilung vor, wobei das Zentrum deutlich im Bereich der niederen Amplitudenwerte angesiedelt ist. Bei gesunden Augen beträgt der Mittelwert (\bar{x}) für Aa1 13,9 μV ($\text{SD} \pm 9,8 \mu\text{V}$) und bei kranken Augen 13,9 μV ($\text{SD} \pm 8 \mu\text{V}$). Im Vergleich zu den Messergebnissen bei der Untersuchungsgruppe I bestehen hier kaum Unterschiede zwischen den kranken und den gesunden Augen. Da hier jedoch auch alle kranken Augen, unabhängig von ihrem Erkrankungsstatus zusammengefasst betrachtet werden, kann darüber keine generelle Aussage gemacht werden.

Tabelle 90: Vergleich der Amplitudenhöhe der a-Welle bei Pferdeaugen mit (krank) und ohne pathologische Abweichungen (gesund) im Sinne einer Uveitis, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

gesund		Krank
13	Median	13
0,83	Min	2,3
42,6	Max	29,31
13,9	\bar{x}	13,9
9,8	SD	8

4 Ergebnisse

4.8.9 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis II)

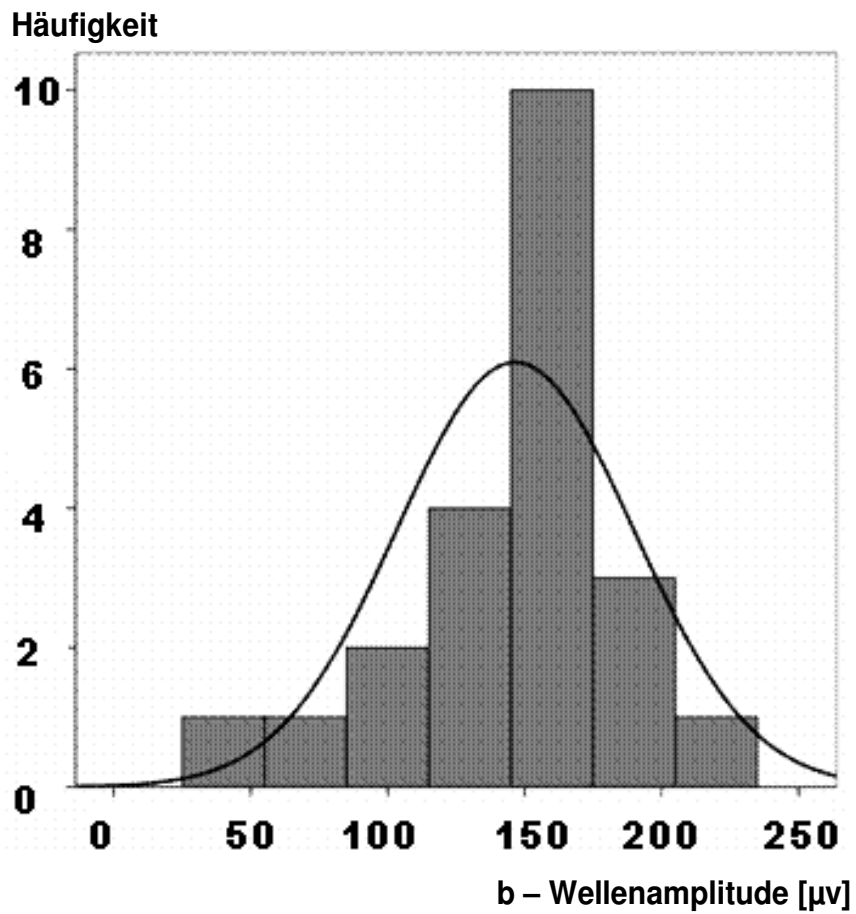


Abbildung 41: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Uveitis II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

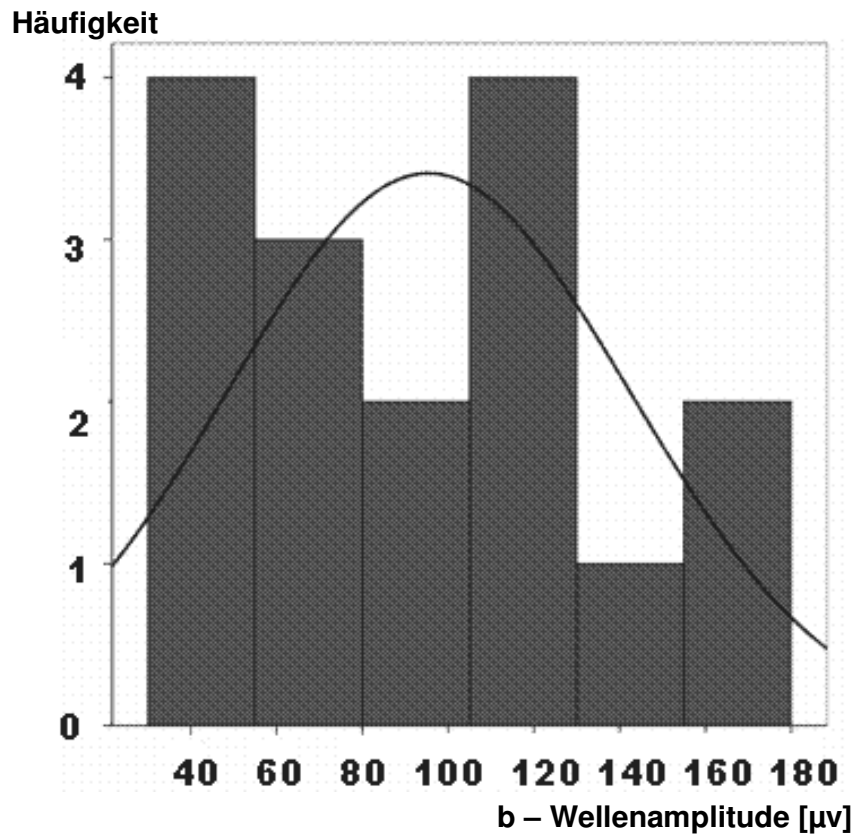


Abbildung 42: Histogramm der Amplitudenmaxima der b–Welle bei an Uveitis erkrankten Pferdeaugen gemessen (Untersuchungsgruppe Uveitis II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

Tabelle 91: Vergleich der Amplitudenhöhe der b-Welle bei Pferdeaugen mit (krank) und ohne pathologischen Abweichungen (gesund) im Sinne einer Uveitis, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

gesund		krank
151,5	Median	93,8
29,5	Min	33,9
212	Max	176
146,5	\bar{x}	95,4
43,2	SD	48,8

Die Amplitudenwerte der b-Welle liegen bei gesunden Augen mit einem Mittelwert von $\bar{x} = 146,5 \mu\text{V}$ ($s \pm 43,2 \mu\text{V}$) nahezu normal verteilt vor. Hingegen lässt sich in dem bimodalen Histogramm von der AmplitudeAb1 kranker Augen keine Normalverteilung erkennen. Der Mittelwert $\bar{x} = 95,4 \mu\text{V}$ ($s \pm 48,8 \mu\text{V}$) ist deutlich niedriger als bei den gesunden Augen.

4.9 ERG bei Pferden mit pathologischen Veränderungen am Auge im Sinne eines Glaukoms

Insgesamt wurden bei 14 Pferden, die Veränderungen am Auge im Sinne eines Glaukoms aufwiesen, ein ERG am erkrankten und ein ERG am gesunden Auge abgeleitet. Aufgrund der in Kapitel 4.1 beschriebenen Differenzen der Messergebnissen bei unterschiedlicher Elektrodenplatzierung werden die Resultate hier getrennt nach der Messmethodik dargestellt. Bei Methode I befand sich die Referenzelektrode subkutan im Unterlid, bei Messmethode II wurde sie ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus unter die Haut gestochen.

In der Untersuchungsgruppe I wurde bei 7 Pferden je ein ERG abgeleitet, wobei die meisten Pferde nur an einem Auge Veränderungen im Sinne einer Uveitis aufwiesen. Die Pferdeaugen ohne pathologische Abweichungen wurden als „gesund“ eingestuft und dienen als Referenzwerte (siehe Kapitel 4.7).

4 Ergebnisse

4.9.1 Basistatistik/Messergebnisse für die Messungen bei 1,3 Hz und 28 Hz bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

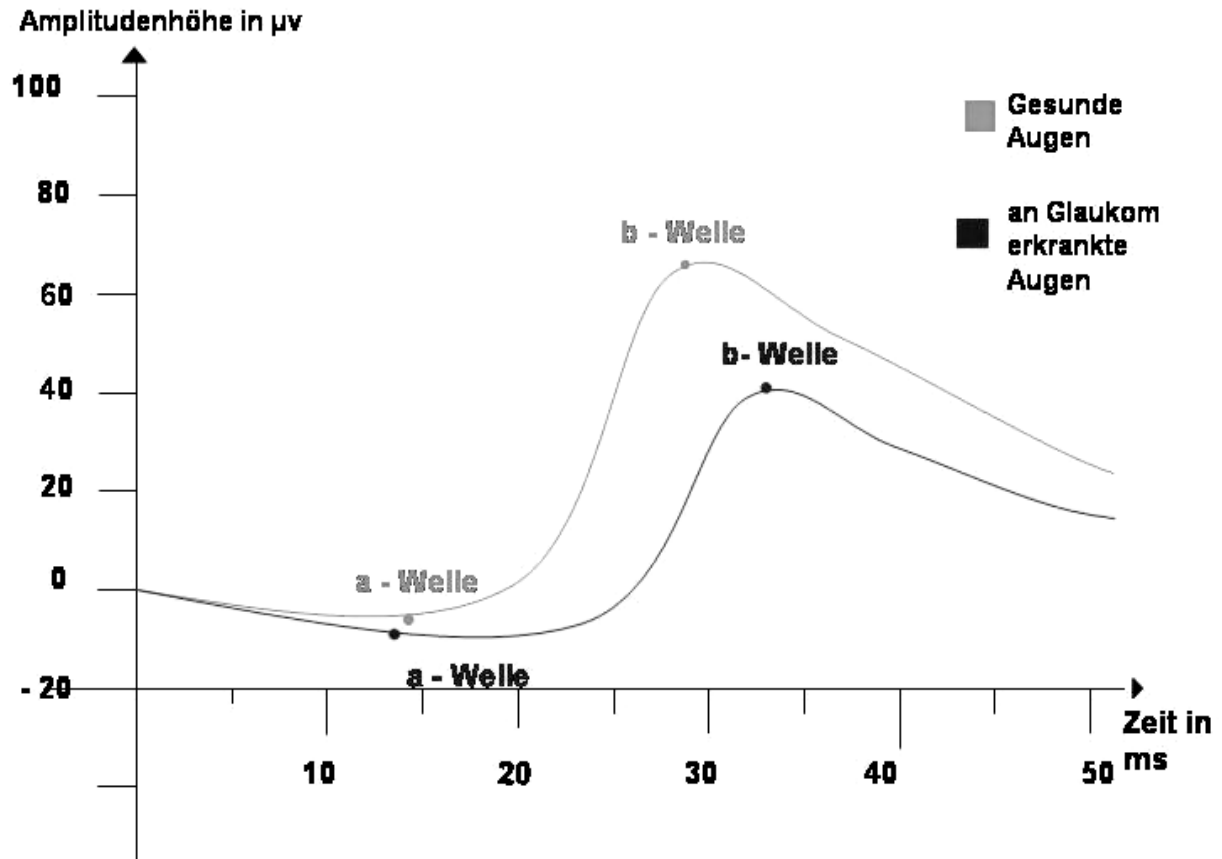


Abbildung 43: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Glaukom erkrankter Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode im Unterlid) und 1,3 Hz

4 Ergebnisse

Tabelle 92: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode I (Referenzelektrode subkutan um Unterlid) und 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	fehlend	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude	7	0	8,4	7,5	5,9	1,4	20,4
b-Wellenamplitude	7	0	40,5	18,8	33,8	16,4	66,3
a-Wellenlatenz	7	0	13,6	2,5	15	10	16
b-Wellenlatenz	7	0	33,6	8	30	28	50

Tabelle 93: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode I (Referenzelektrode subkutan um Unterlid) und 28 Hz

Messgröße	Anzahl	fehlend	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	7	0	24,7	19	21,1	1	59
P1 [ms]	7	0	8,7	6,5	7,1	0,5	20,7
N1-P1 [ms]	7	0	17	1,7	18	14	19
28 Hz [μ V]	7	0	27,1	3,8	28	19	30

4.9.2 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

Vor den elektroretinographischen Messungen wurden die Pferde ophthalmologisch untersucht und die Erkrankungsmerkmale dokumentiert. Die Bewertung der Veränderungen an den Augenstrukturen erfolgte nach dem in Kapitel 3.7 aufgeführten Schema:

Tabelle 94: Vorkommen von diffusen Glaskörpertrübungen (I)) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Trübungen	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	17	3	1	0	0	0	5	25
Prozent	68	12	4	0	0	0	16	100,0

4 Ergebnisse

Tabelle 95: Vorkommen von wolkigen Glaskörpereinlagerungen (II) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Einlagerung	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	16	2	4	2	0	0	1	25
Prozent	64	8	16	8	0	0	4	100,0

Tabelle 96: Geschätzte Pupillenweite (III) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Pupillenweite	1	2	3	4	fehlend	gesamt
Anzahl	0	4	13	5	3	25
Prozent	0	16	52	20	12	100,0

Tabelle 97: Verwendete Sedierung (IV) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Sedierung	1	2
Anzahl	4	18
Prozent	16	72

Tabelle 98: Vorkommen von Linsentrübungen (V) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Trübung	0	1	2	3	fehlend	gesamt
Anzahl	13	7	0	3	2	25
Prozent	52	28	0	12	8	100,0

Tabelle 99: Vorkommen von Hornhauttrübungen (VI) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Trübung	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	10	4	3	0	0	1	7	25
Prozent	40	16	12	0	0	4	28	100,0

4 Ergebnisse

Tabelle 100: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VII) bei den untersuchten Pferdeaugen, gemessen nach Messmethode I

Sehfähigkeit	0	1	2	3	4	fehlend	gesamt
Anzahl	10	2	1	4	7	1	25
Prozent	40	8	4	16	28	4	100,0

4.9.3 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

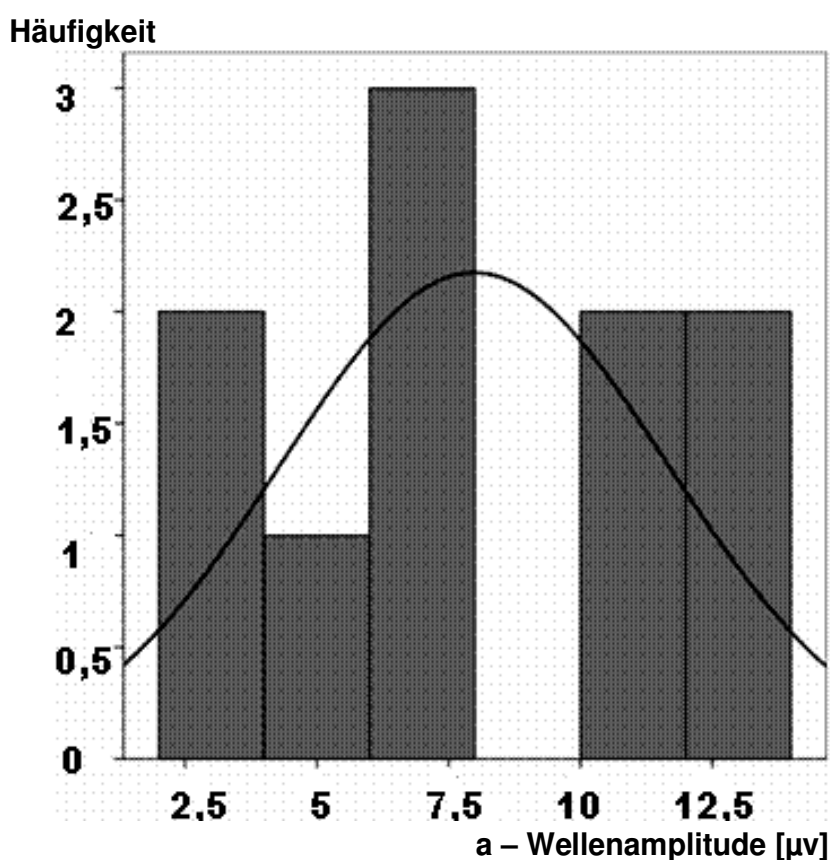


Abbildung 44: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Hier liegt keine Normalverteilung, weder für gesunde noch für kranke Augen vor; bei gesunden Augen ist $\bar{x} = 8 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 3,7\mu\text{V}$), der bei kranke Augen $\bar{x} = 8,4 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 7,5\mu\text{V}$).

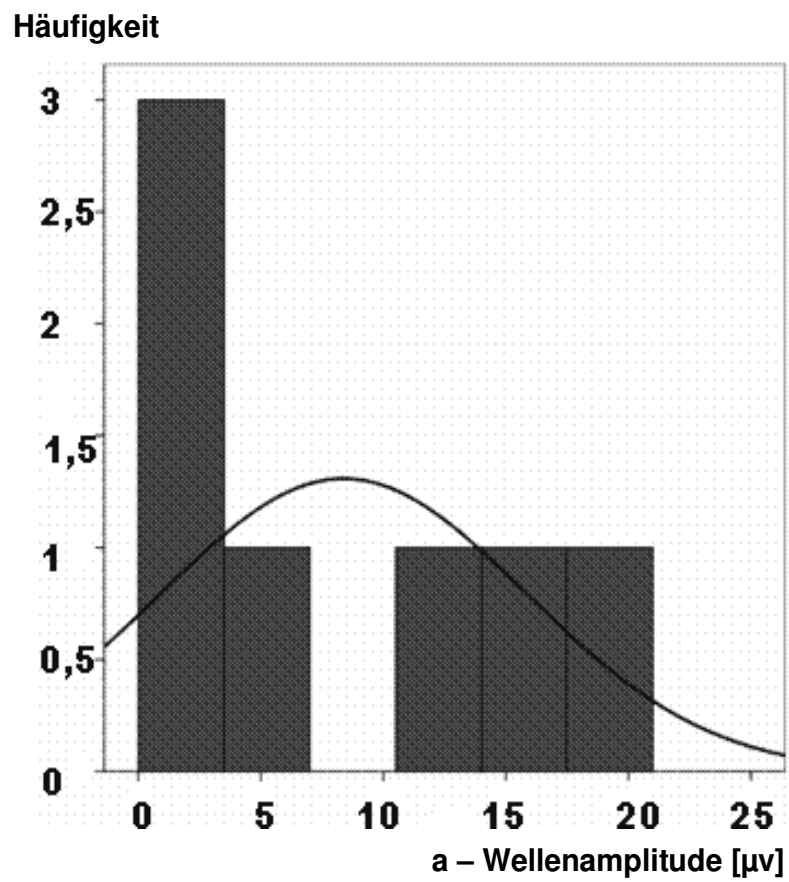


Abbildung 45: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

Tabelle 101: Vergleich der Amplitudenhöhe der a-Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3Hz

Gesund		krank
7,4	Median	5,9
3,3	Min	1,4
13	Max	20,4
8	\bar{x}	8,4
7,4	SD	7,5

4.9.4 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

Die Werte für Ab1 sind bei den gesunden Augen annähernd normalverteilt mit einem Mittelwert von $\bar{x} = 66 \mu\text{V}$, ($\text{SD} \pm 23,5\mu\text{V}$). Bei den kranken Augen kann hingegen nicht von einer Normalverteilung gesprochen werden. Hier liegt der Mittelwert bei $\bar{x} = 40,5 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 18\mu\text{V}$).

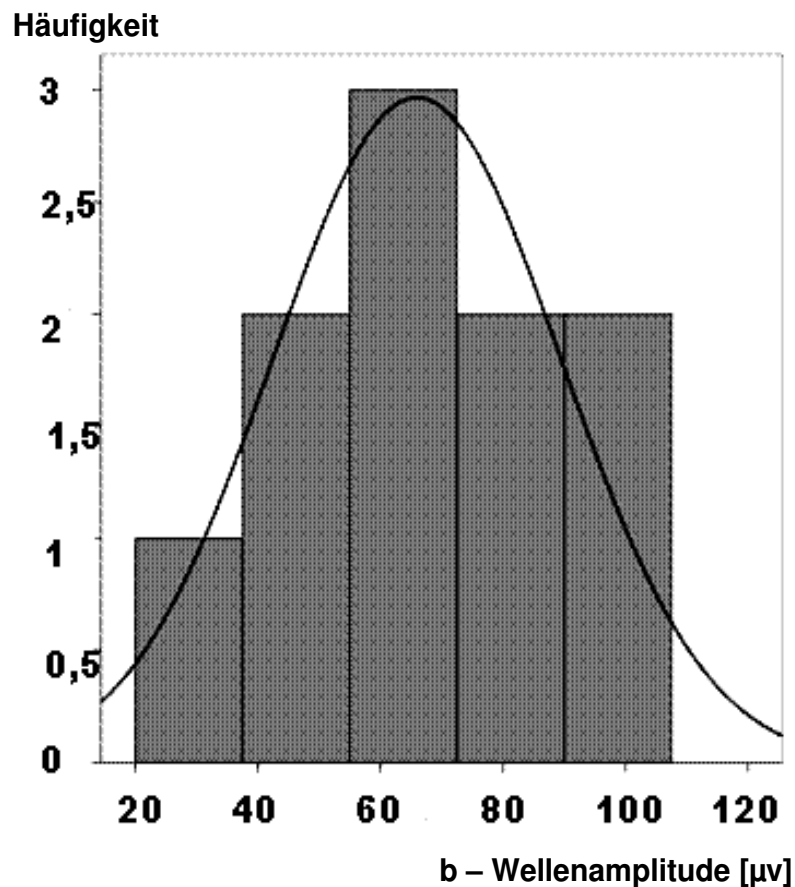


Abbildung 46: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei gesunden Pferdeaugen der (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

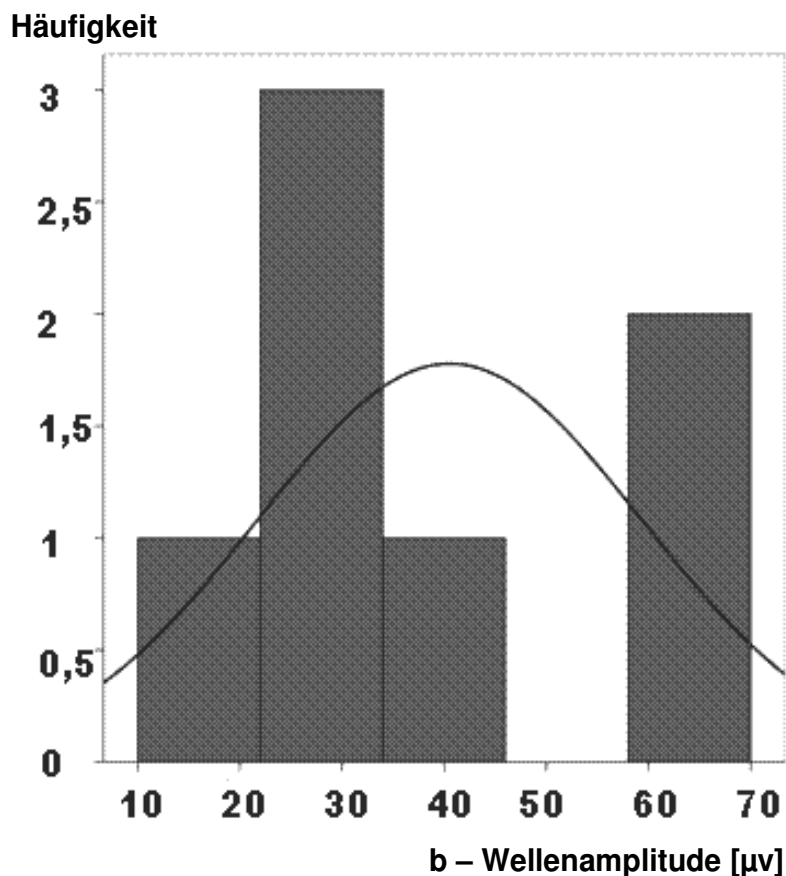


Abbildung 47: Histogramm der Amplitudenmaxima der b–Welle bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Tabelle 102: Vergleich von Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms gemessen nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Gesund		Krank
67,1	Median	33,8
25,9	Min	16,4
99,8	Max	66,3
66	\bar{x}	40,5
23,5	SD	18,8

4 Ergebnisse

4.9.5 Basistatistik/Messergebnisse für die Messungen bei 1,3 Hz und 28 Hz bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II)

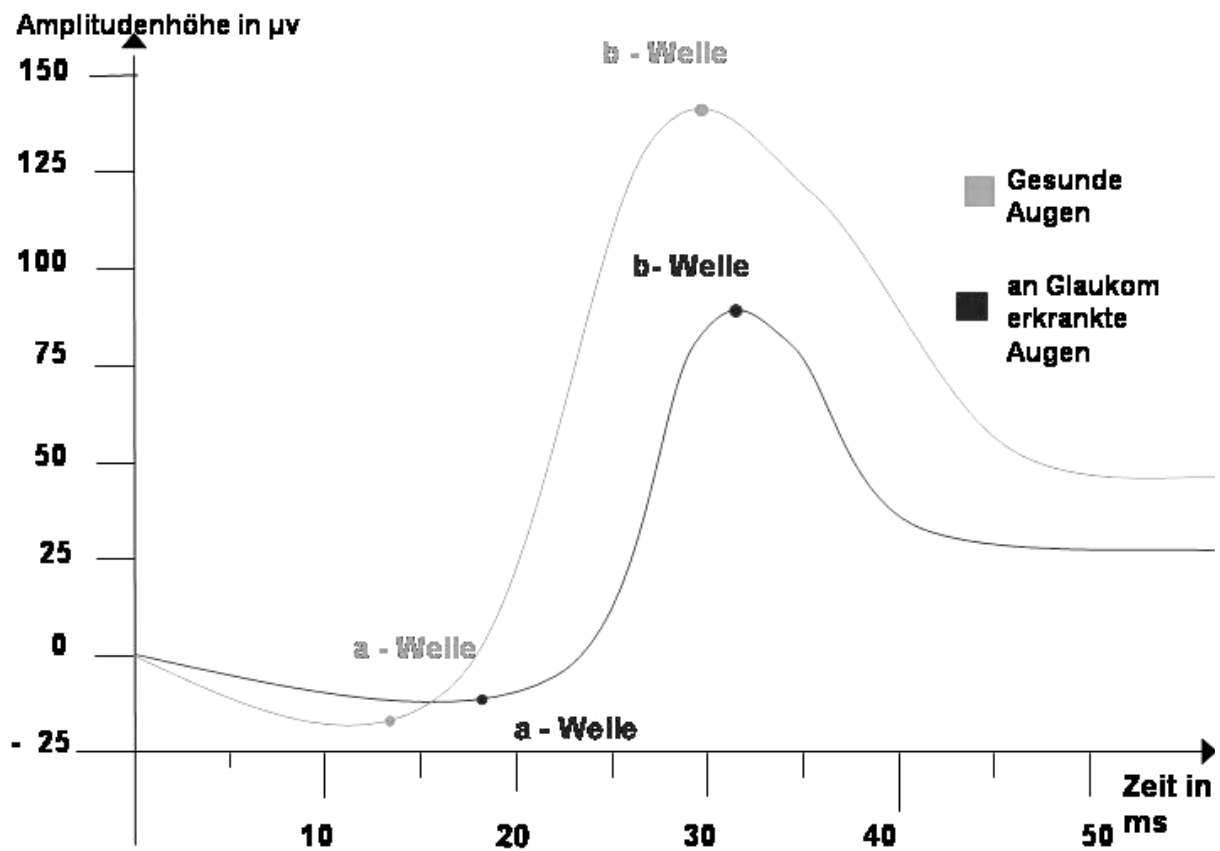


Abbildung 48: Schemazeichnung der ERG-Kurven gesunder und an Glaukom erkrankter Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus) bei 1,3 Hz

4 Ergebnisse

Tabelle 103: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Messgröße	Anzahl	Fehlend	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
a-Wellenamplitude	7	0	16,2	12,1	13	3,5	36,6
b-Wellenamplitude	7	0	85,8	47,9	89,4	19,6	152
a-Wellenlatenz	7	0	18,3	5,2	15	14	26
b-Wellenlatenz	7	0	32,3	5,4	29	28	41

Tabelle 104: Messergebnisse bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen gemessen nach der Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 28 Hz

Messgröße	Anzahl	Fehlend	\bar{x}	SD	Median	Min	Max
N1 [ms]	7	0	45,4	32,9	44	7,4	91,7
P1 [ms]	7	0	20,5	12,6	17	6,6	40,7
N1-P1 [ms]	7	0	19,1	9,5	16	12	40
28 Hz [μ V]	7	0	28,1	1,1	29	27	29

4.9.6 Nominalstatistik/ Häufigkeiten der nach klinischer Untersuchung eingeteilten Parameter (Untersuchungsgruppe Glaukom II)

Tabelle 105: Vorkommen von diffusen Glaskörpertrübungen (I) bei den an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

Trübungen	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	15	0	1	1	0	0	3	20
Prozent	75	0	5	5	0	0	15	100,0

4 Ergebnisse

Tabelle 106: Vorkommen von wolkigen Glaskörpereinlagerungen (II) bei den an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

Einlagerung	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	11	2	4	1	0	2	0	20
Prozent	55	10	20	5	0	10	0	100,0

Tabelle 107: Geschätzte Pupillenweite (III) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

Pupillenweite	1	2	3	4	Fehlend	gesamt
Anzahl	8	8	0	0	4	20
Prozent	40	40	0	0	20	100,0

Tabelle 108: Verwendete Sedierung (IV) bei der elektroretinographischen Messung (Untersuchungsgruppe Glaukom I)

Sedierung	1	2	fehlend	gesamt
Anzahl	2	18	0	20
Prozent	10	90	0	100,0

Tabelle 109: Vorkommen von Linsentrübungen (V) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen

Trübung	0	1	2	3	4	fehlend	gesamt
Anzahl	9	7	2	2	0	0	20
Prozent	45	35	10	10	0	0	100,0

Tabelle 110: Vorkommen von Hornhauttrübungen (VI) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen

Trübung	0	1	2	3	4	5	fehlend	gesamt
Anzahl	9	2	1	2	3	1	2	20
Prozent	45	10	5	10	15	5	10	100,0

4 Ergebnisse

Tabelle 111: Subjektive Einschätzung der Sehfähigkeit (VII) bei an Glaukom erkrankten Pferdeaugen

Sehfähigkeit	0	1	2	3	4	fehlend	gesamt
Anzahl	10	4	2	1	2	1	20
Prozent	50	20	10	5	10	5	100,0

4.9.7 Verteilung der Amplitudenhöhe der a-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Glaukom II)

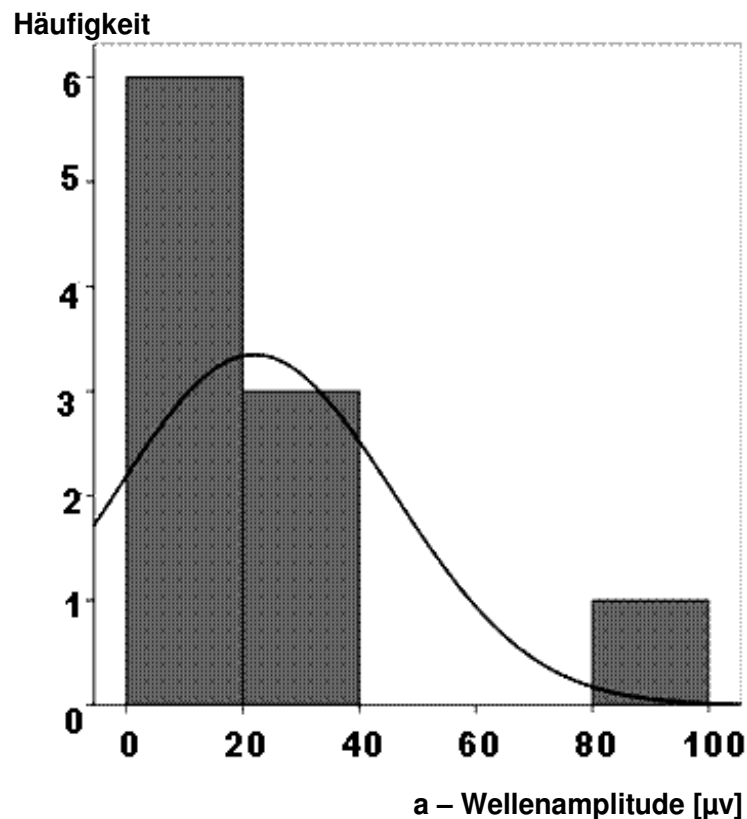


Abbildung 49: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Bei beiden Abbildungen liegt keine Normalverteilung vor. Der Mittelwert der gesunden Augen liegt mit $\bar{x} = 22 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 23,9\mu\text{V}$) deutlich über dem der an einem Glaukom erkrankten Augen $\bar{x} = 16,2 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 12,1\mu\text{V}$).

4 Ergebnisse

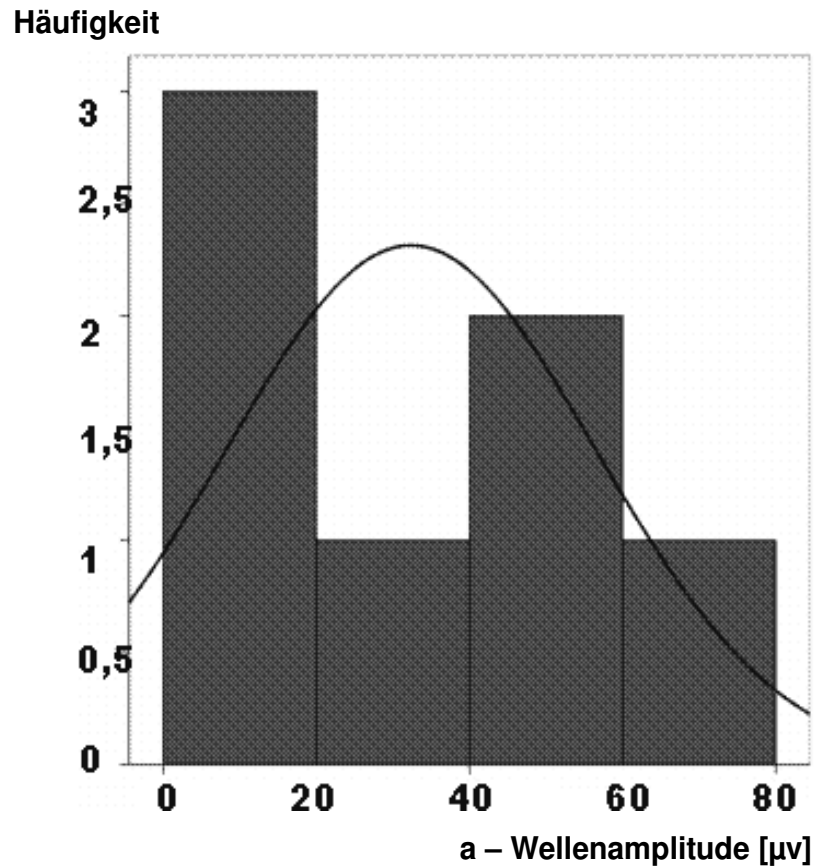


Abbildung 50: Histogramm der Amplitudenmaxima der a-Welle bei an einem Glaukom erkrankten Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Tabelle 112: Vergleich von Amplitudenhöhe μV der a-Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms, gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Gesund		krank
17,6	Median	13
1,8	Min	3,5
87	Max	36,6
22	\bar{x}	16,2
23,9	SD	12,1

4.9.8 Verteilung der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz (Untersuchungsgruppe Uveitis II)

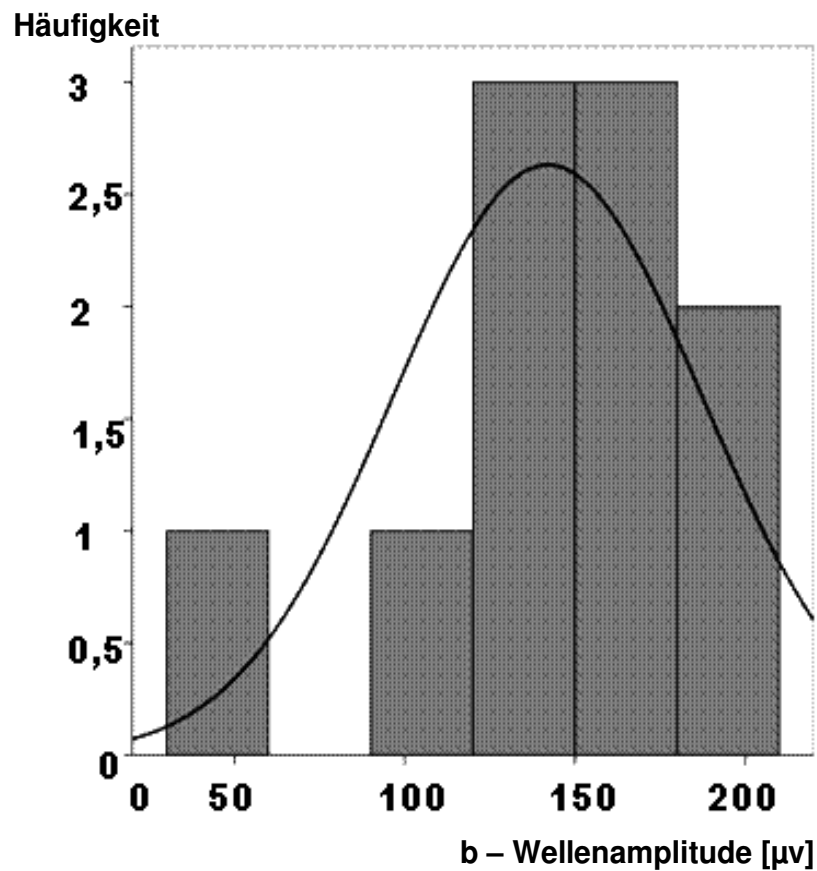


Abbildung 51: Histogramm der Amplitudenmaxima der b-Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Weder bei den gesunden, noch bei den an einem Glaukom erkrankten Pferdeaugen liegt im Histogramm eine Normalverteilung der Amplitudenhöhen vor. Der Mittelwert (\bar{x}) der gesunden Augen beträgt $\bar{x} = 142 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 45,5 \mu\text{V}$), der der kranken liegt mit $\bar{x} = 85,8 \mu\text{V}$ ($\text{SD} \pm 47,09 \mu\text{V}$) deutlich darunter.

4 Ergebnisse

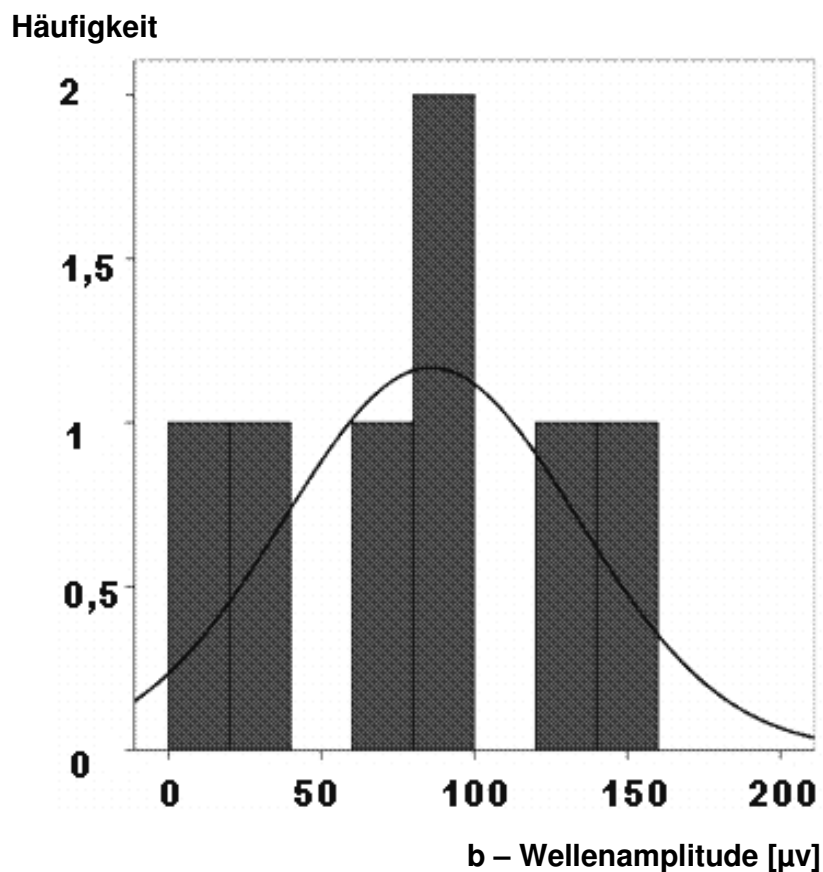


Abbildung 52: Histogramm der Amplitudenmaxima der b–Welle bei gesunden Pferdeaugen (Untersuchungsgruppe Glaukom II), gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3Hz

Tabelle 113: Vergleich von Amplitudenhöhe der b–Welle bei Augen ohne (gesund) und mit (krank) pathologischen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms gemessen nach Methode II (Referenzelektrode ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) bei 1,3 Hz

Gesund		krank
148,5	Median	89,4
48,6	Min	19,6
206	Max	152
142	\bar{x}	85,8
45,5	SD	47,9

4.10 Untersuchung verschiedener Einflussgrößen auf das ERG

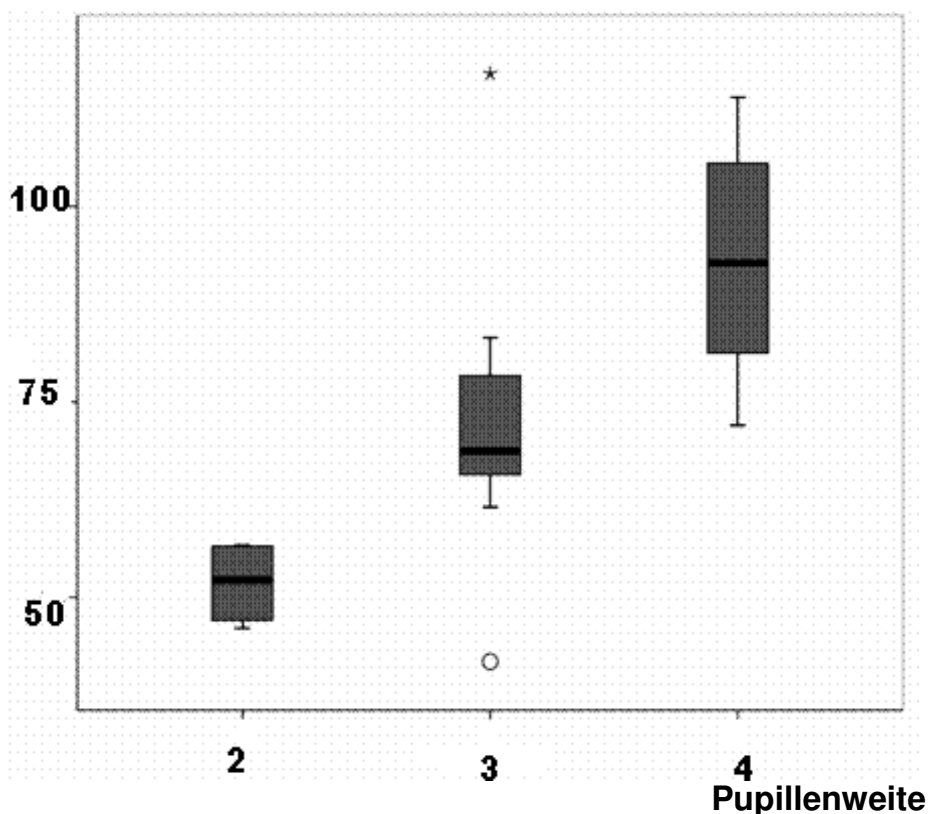
Diese statistische Untersuchung wurde getrennt zwischen den Gruppen Uveitis/Glaukom I und Uveitis/Glaukom II und getrennt zwischen gesunden und kranken Augen durchgeführt, da die gesunden Augen keine pathologischen Abweichungen aufwiesen und bei dem Parameter VII (Kapitel 3.7) als 0 (0 = keine Beeinträchtigung der Sehfähigkeit, Augenhintergrund einsehbar und normal) klassifiziert wurden. Um eine bessere graphische Übersicht zu erhalten wurden dennoch in den jeweiligen Box Plots alle kranken Augen zusammen dargestellt und entsprechend zugeordnet. Es wurde jeweils der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Parametern, die in Kapitel 3.7 beschrieben sind und den Messgrößen mit dem Spearman-Rho-Koeffizienten auf eine bestehende Korrelation hin untersucht. Es wurde zwischen einer schwachen ($r = < 0,5$), mittleren ($r = 0,5$) und einer starken Korrelation ($r > 0,5$) unterschieden.

4.10.1 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe

Bei der Messung mit 1,3 Hz konnte zwischen der Pupillenweite und der Amplitudenhöhe der a-Welle ein Zusammenhang festgestellt werden. Je weiter die Pupille geöffnet war umso höher waren die messbaren Amplitudenwerte der a-Welle. Dieser Zusammenhang war jedoch sehr schwach ausgeprägt (gesunden Augen: $r = 0,165$; bei an einer Uveitis erkrankten Augen: $r = 0,188$).

Zwischen dem Pupillendurchmesser und der b-Wellenamplitude bei der Messung mit 1,3 Hz lag bei den gesunden Augen (siehe Abbildung 53) ein starker Zusammenhang vor ($r = 0,733$). Dieser Zusammenhang war auf dem 0,01 Niveau signifikant. Bei an Uveitis erkrankten Augen konnte ebenfalls ein schwacher Zusammenhang zwischen der b-Wellenamplitude und der Pupillenweite beobachtet werden ($r = 0,394$).

b – Wellenamplitude [μV]



Geschätzte Pupillenweite in mm (1 = geringer Pupillendurchmesser (< 5mm), 2 = mittelweiter Pupillendurchmesser (8mm), 3 = weiter Pupillendurchmesser (10mm), 4 = Pupille maximal weit gestellt (12mm))

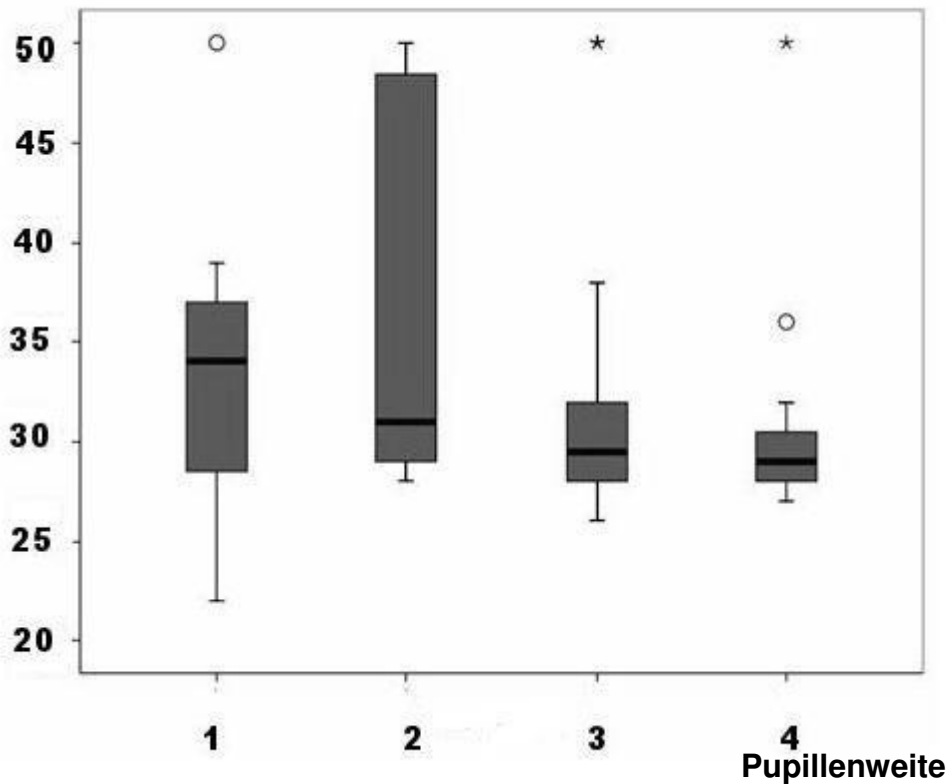
Abbildung 53: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe der b–Welle, bei Augen ohne Abweichungen im Sinne einer Uveitis, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3Hz

4.10.2 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenzen

Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) durchgeführt. Es konnte bei zunehmender Pupillenweite keine Verkürzung der Latenzzeit für die a-Wellenamplitude beobachtet werden. Eine Verkürzung der Latenzen der b-Wellenamplitude bei zunehmendem Pupillendurchmesser konnte nur in einem geringen Maße beobachtet werden.

4 Ergebnisse

b-Wellenlatenz [ms]

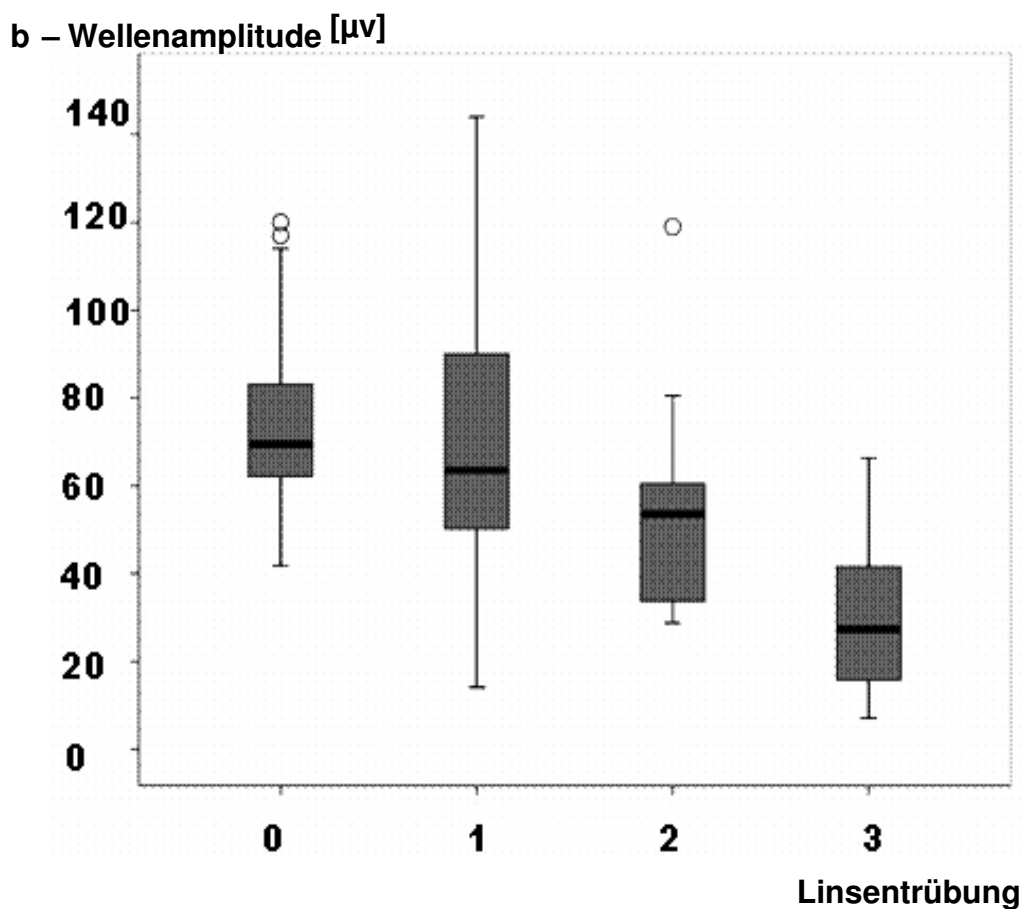


Geschätzte Pupillenweite in mm (1 = geringer Pupillendurchmesser (< 5mm), 2 = mittelweiter Pupillendurchmesser (8mm), 3 = weiter Pupillendurchmesser (10mm), 4 = Pupille maximal weit gestellt (12mm))

Abbildung 54: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenz der b-Welle bei Augen ohne Abweichungen im Sinne einer Uveitis, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3Hz

4.10.3 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe

Bei zunehmender Linsentrübung konnte eine Abnahme der Amplitudenhöhe bei den an Uveitis erkrankten Augen beobachtet werden. Zwischen der a-Wellenamplitude und der Linsentrübung bestand eine starke Korrelation ($r = 0,559$). Diese war auf dem 0,05 Niveau signifikant. Es bestand ein schwacher gegensinniger Zusammenhang zwischen der b-Wellenamplitude und der Linsentrübung ($r = 0,323$).

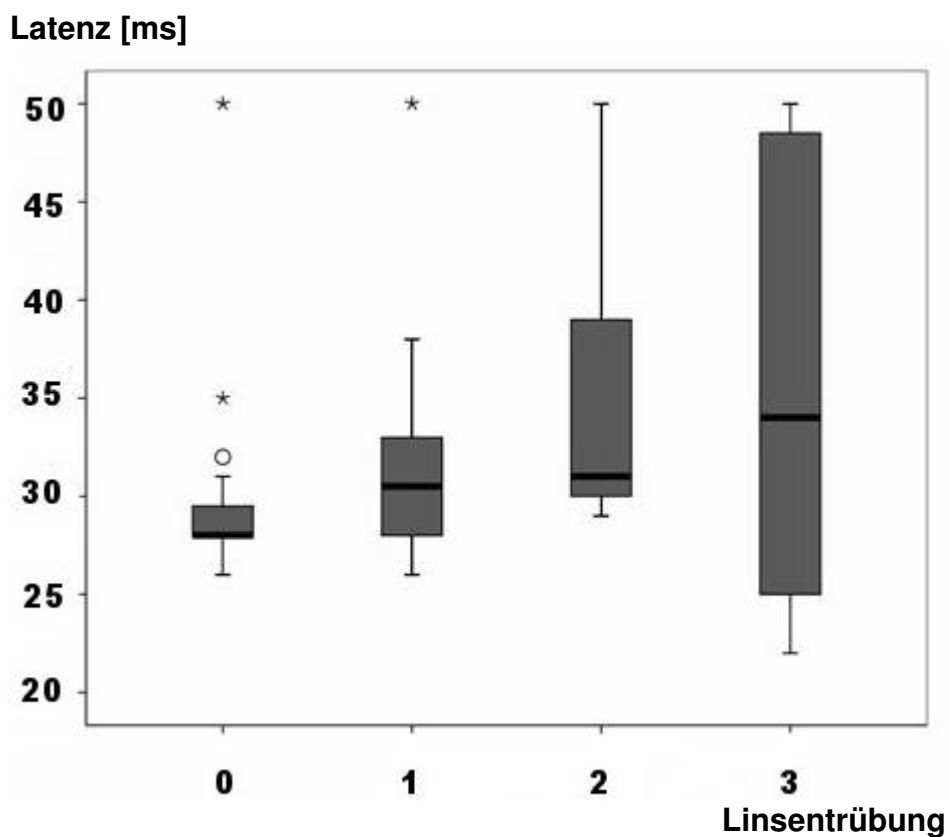


Trübungsgrad der Linse: 0 = keine Trübung, 1 = ggrd. Trübung, 2 = mittelgradige Trübung, 3 = vollständige Trübung

Abbildung 55: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle, bei Augen ohne Trübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

4.10.4 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Latenz

Es konnte keine deutliche Verlängerung der a-Wellenlatenz bei zunehmender Linsentrübung beobachtet werden. Die Latenzzeit der b-Welle war jedoch bei zunehmender Linsentrübung deutlich verzögert. Da sich jedoch die Wertbereiche teilweise stark überschneiden haben konnte keine allgemein gültige Aussage gestellt werden.



Trübungsgrad der Linse: 0 = keine Trübung, 1 = ggrd. Trübung, 2 = mittelgradige Trübung, 3 = vollständige Trübung

Abbildung 56: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und der Latenz der b-Welle in ms, bei Augen ohne Trübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

4.10.5 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung / einlagerung und Amplitudenhöhen

Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) durchgeführt. Je stärker der Grad an entzündlichen Einlagerungen in den Glaskörper bei den an Uveitis erkrankten Augen war, umso geringer fiel die Amplitudenhöhe der a- und b-Welle bei Messungen mit 1,3 Hz aus. Ein starker Zusammenhang bestand nur zwischen der b-Wellenamplitude und den Glaskörpertrübungen. Zwischen der a-Wellenamplitude und den Glaskörpertrübungen konnte nur ein schwacher Zusammenhang beobachtet werden. Eine schwache Korrelation bestand zwischen dem Parameter Glaskörpereinlagerungen und der a- und b-Wellenamplitude.

Tabelle 114: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a- und der b-Welle bei an Uveitis erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode im Unterlid) bei 1,3 Hz

Messgröße	Glaskörpertrübungen	Glaskörpereinlagerungen
a-Wellenamplitude	$r = 0,127$	$r = 0,238$
b-Wellenamplitude	$r = 0,43$	$r = 0,28$

4.10.6 Untersuchungsgruppe Uveitis I: Zusammenhang zwischen Glaskörpereinlagerung und Latenzen

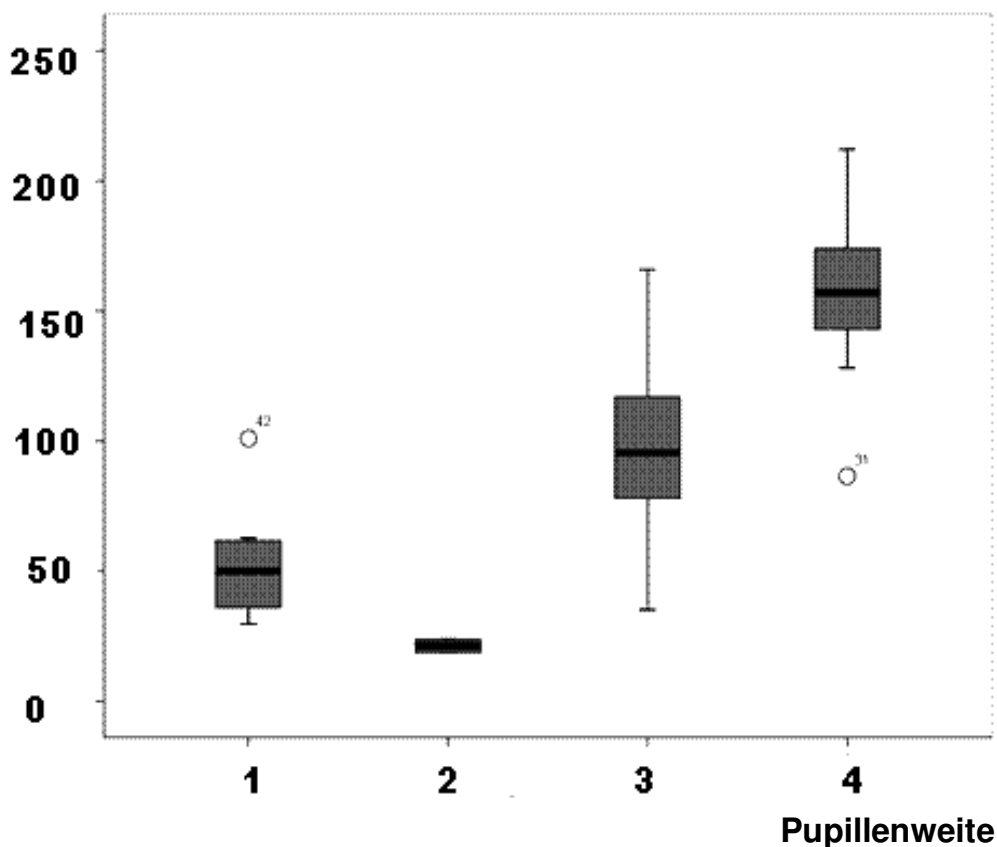
Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) durchgeführt. Es konnte bei zunehmenden Einlagerungen in den Glaskörper eine Verkürzung der b-Wellenlatenz beobachtet werden. Zwischen der Latenzzeit für das a-Wellenmaximum und dem Auftreten von Glaskörpereinlagerungen war kein Zusammenhang zu beobachten.

4.10.7 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe

Bei den Pferden der Untersuchungsgruppe Uveitis II wurden die Messungen nach der Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) durchgeführt. Zwischen der Pupillenweite und der Amplitudenhöhe der a-Welle bestand bei gesunden ein sehr schwacher Zusammenhang ($r = 0,126$). Zwischen den an Uveitis erkrankten Augen und der Pupillenweite bestand eine mittlere Korrelation ($r = 0,429$).

Zwischen der Pupillenweite und der Amplitudenhöhe der b-Welle der Untersuchungsgruppe Uveitis II bestand sowohl bei gesunden ($r = 0,519$) als auch bei kranken ($r = 0,755$) Augen ein starker Zusammenhang. Dieser war auf dem 0,05 Niveau signifikant.

b – Wellenamplitude [μv]

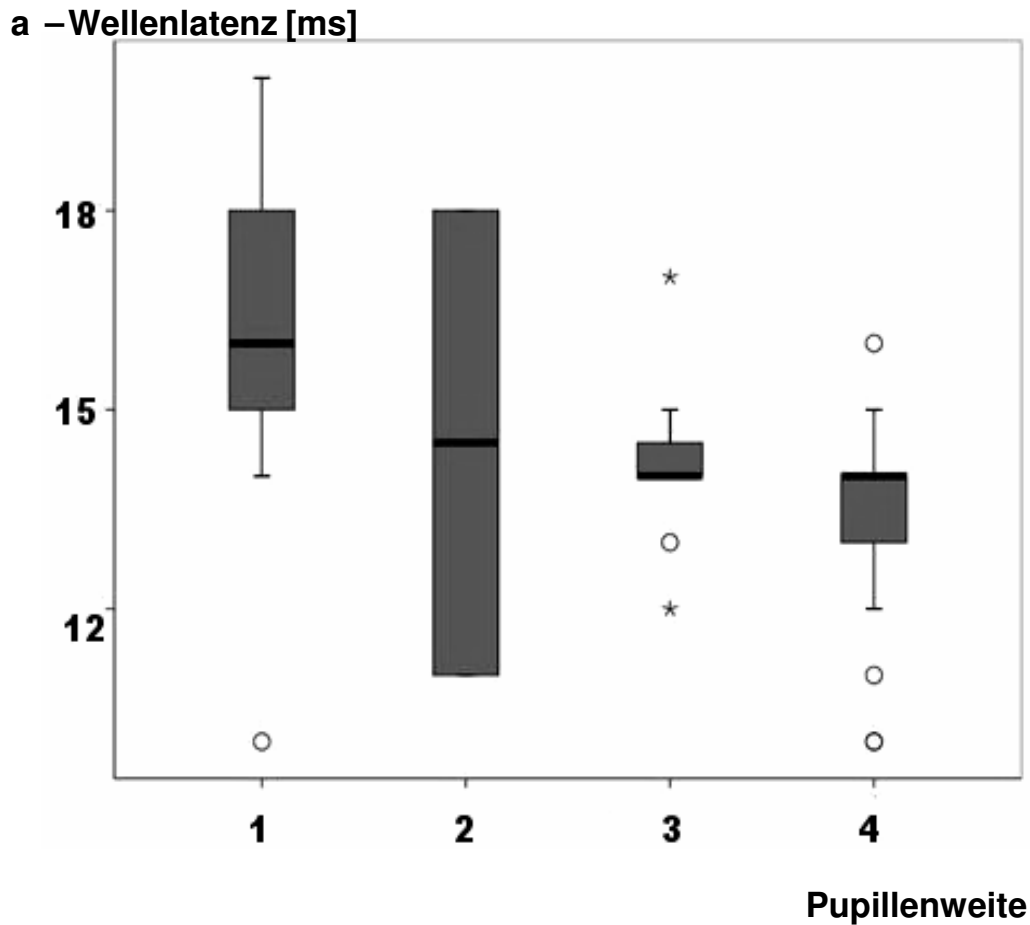


Geschätzte Pupillenweite in mm (1 = geringer Pupillendurchmesser (< 5mm), 2 = mittelweiter Pupillendurchmesser (8mm), 3 = weiter Pupillendurchmesser (10mm), 4 = Pupille maximal weit gestellt (12mm))

Abbildung 57: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe der b–Welle, bei an Uveitis erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

4.10.8 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenzen

Bei zunehmender Pupillenweite verkürzten sich die Latenzen der a- und der b– Welle, wobei der Zusammenhang bei der a–Wellenamplitude stärker ausgeprägt war.



Geschätzte Pupillenweite in mm: 1 = geringer Pupillendurchmesser (< 5mm), 2 = mittelweiter Pupillendurchmesser (8mm), 3 = weiter Pupillendurchmesser (10mm), 4 = Pupille maximal weit gestellt (12mm)

Abbildung 58: Box Plot: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Latenzzeit der a-Welle, bei Augen ohne Abweichungen im Sinne einer Uveitis, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

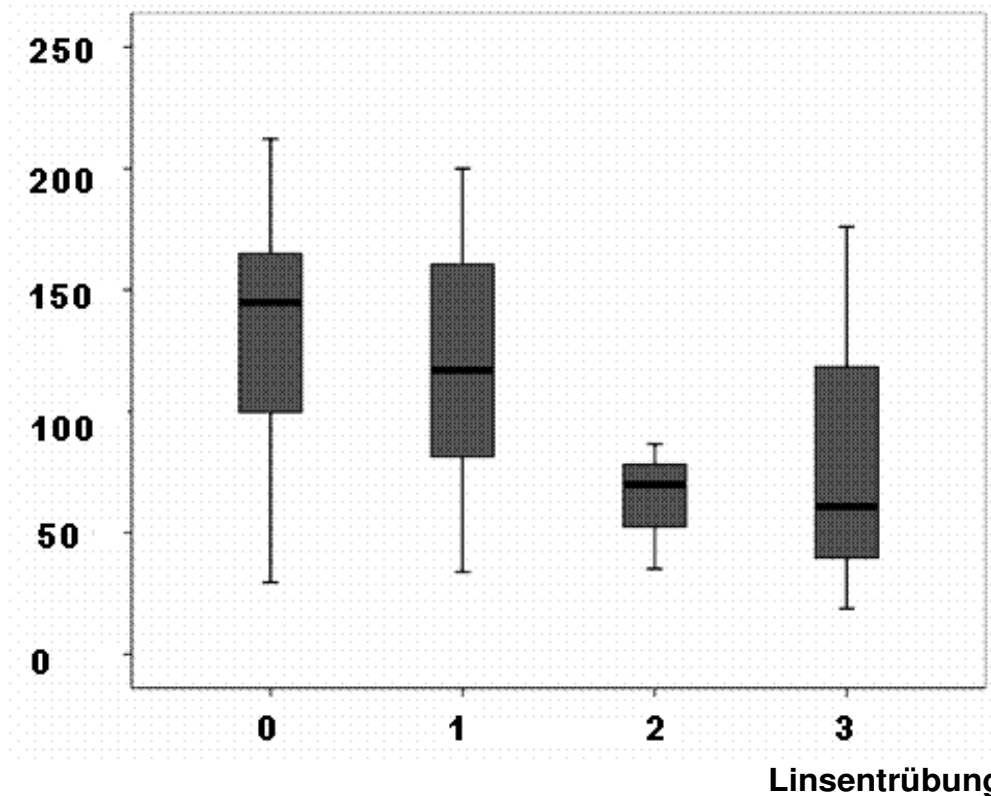
4.10.9 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe

Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) durchgeführt.

4 Ergebnisse

Bei kranken Augen (1 - 3 bei Trübungsgrad der Linse) konnte zwischen der Linsentrübung und den Amplitudenhöhe nur ein schwacher Zusammenhang (a-Wellenamplitude: $r = 0,20$, b-Wellenamplitude: $r = 0,118$) festgestellt werden. Dennoch ist eine Tendenz zu erkennen, dass bei stark eingetrübter Linse auch die Amplitudenhöhen geringer ausfallen.

b – Wellenamplitude [μV]

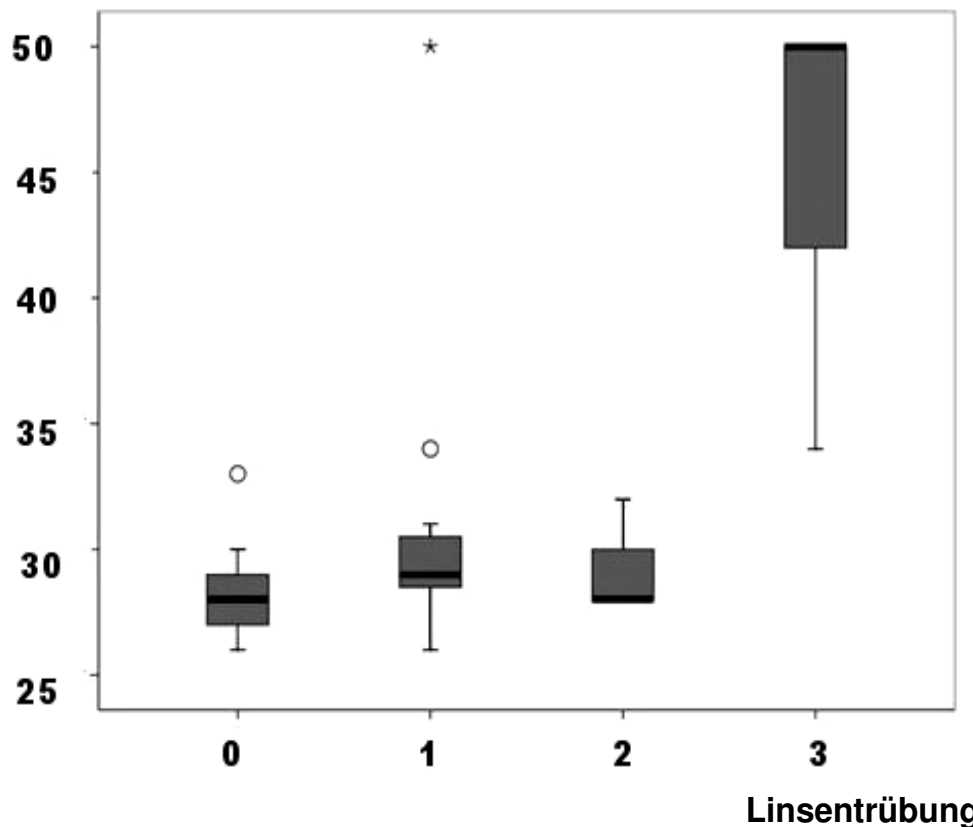


Trübungsgrad der Linse: 0 = keine Trübung, 1 = ggrd. Trübung, 2 = mittelgradige Trübung, 3 = vollständige Trübung

Abbildung 59: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne Linsentrübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

4.10.10 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Latenzen

b – Wellenlatenz [ms]

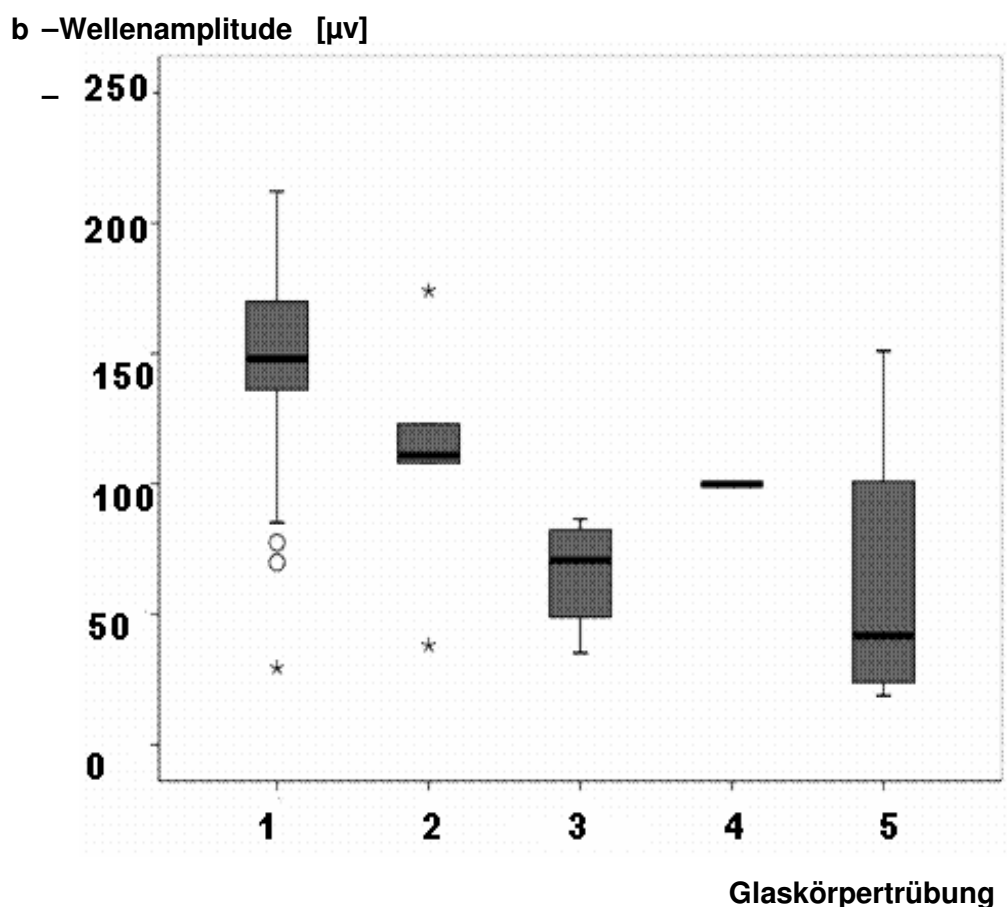


Trübungsgrad der Linse: 0 = keine Trübung, 1 = ggrd. Trübung, 2 = mittelgradige Trübung, 3 = vollständige Trübung

Abbildung 60: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Latenzzeit der b-Welle bei Augen ohne Trübungen (0) und bei Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) durchgeführt. Eine Verlängerung der Latenzzeit bis zum Erreichen der a- und b-Wellenamplitude konnte bei zunehmender Linsentrübung beobachtet werden.

**4.10.11 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung /-
einlagerungen und den Amplitudenhöhen**



Glaskörpertrübungen: 0 = keine Trübung, 1 = geringradige Trübung, 2 = geringradige- mittelgradige Trübung, 3 = mittelgradige Trübung, 4 = mittelgradige- hochgradige Trübung, 5 = hochgradige Trübung

Abbildung 61: Box Plot: Zusammenhang zwischen Einlagerungen in den Glaskörper und Amplitudenhöhe der b–Welle bei an Uveitis erkrankten Augen mit Glaskörpertrübungen (1 - 5), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) durchgeführt. Es bestand ein Zusammenhang zwischen der a- und b-Wellenamplitude und den Parametern Glaskörpertrübung und Glaskörpereinlagerungen.

4 Ergebnisse

Tabelle 115: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a- und der b-Welle bei an Uveitis erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

Messgröße	Glaskörpertrübungen	Glaskörpereinlagerungen
a-Wellenamplitude	$r = 0,441$	$r = 0,436$
b-Wellenamplitude	$r = 0,438$	$r = 0,435$

4.10.12 Untersuchungsgruppe Uveitis II: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung /- einlagerungen und den Latenzen

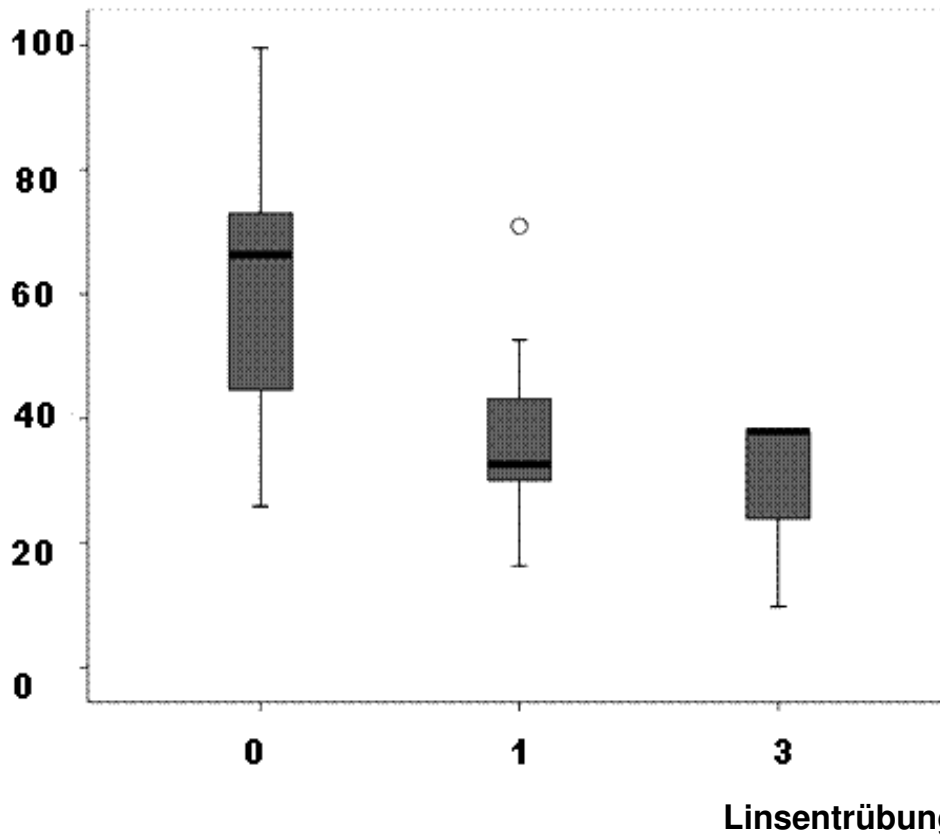
Bei vermehrten Einlagerungen und Trübungen des Glaskörpers verzögern sich die Latenzzeiten bis zum Erreichen des a- und des b-Wellenamplitudenmaximums.

4.10.13 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe

Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid des zu untersuchenden Auges) durchgeführt. Wie auch bei den an Uveitis erkrankten Pferden war eine Tendenz erkennbar, dass bei enger Pupille bei gesunden Pferdeaugen aus dieser Untersuchungsgruppe die Amplitudenhöhe der a- und b-Welle bei 1,3 Hz im ERG geringer ist. Dieser Zusammenhang zwischen der Pupillenweite und der Amplitudenhöhe der b-Welle nur schwach ($r = 0,327$). Zwischen der Pupillenweite und der a-Wellenamplitude bestand eine starke Korrelation ($r = 0,546$). Für die an einem Glaukom erkrankten Pferdeaugen waren die Amplitudenhöhen der a- und b- Welle nur wenig von dem Pupillendurchmesser beeinflusst.

4.10.14 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe

b – Wellenamplitude [μV]



Trübungsgrad der Linse: 0 = keine Trübung, 1 = ggrd. Trübung, 2 = mittelgradige Trübung, 3 = vollständige Trübung

Abbildung 62: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle in μV bei Augen ohne Trübungen der Linse (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Trübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

Bei zunehmender Linsentrübung konnte im BoxPlot eine Abnahme der a- und der b-Welle beobachtet werden, allerdings bestand zwischen der a-Welle und dem Parameter Linsentrübung keine darstellbare Korrelation ($r = 0,080$). Zwischen der b-Wellenamplitude und der Linsentrübung bestand ein starker Zusammenhang ($r = 0,503$).

4.10.15 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung /-einlagerungen und Amplitudenhöhen

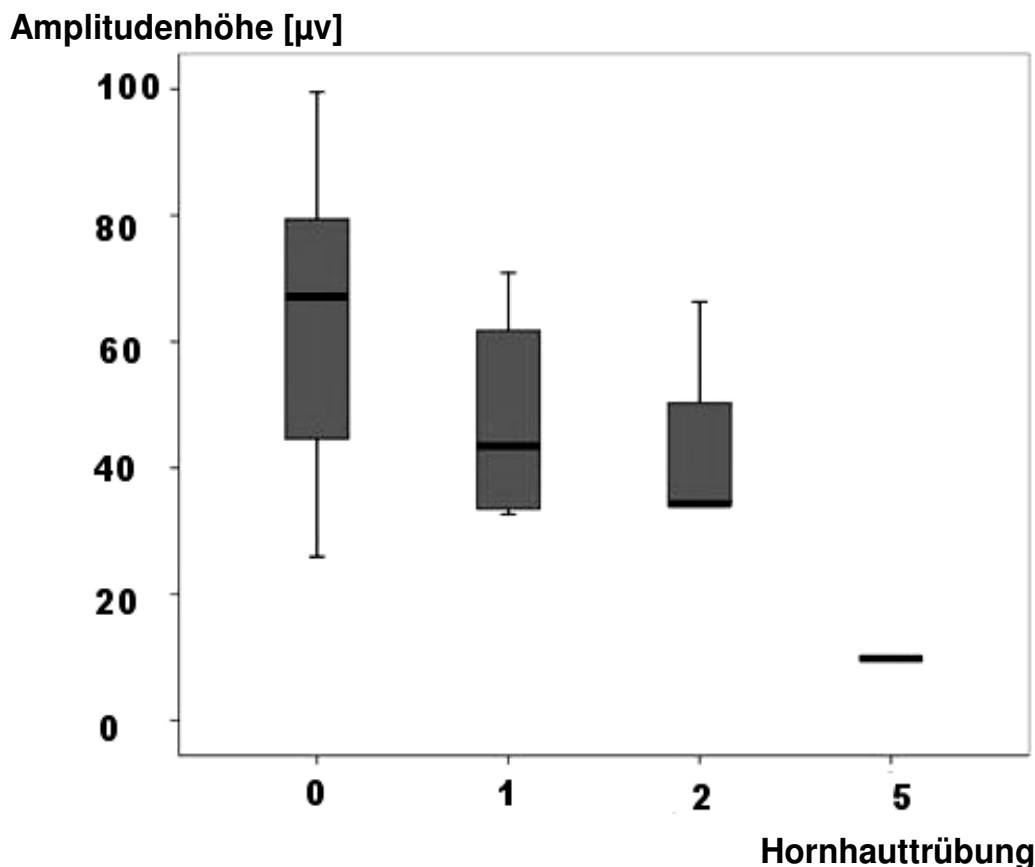
Der Zusammenhang zwischen den Glaskörpertrübungen/Einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a- und b-Welle wurde untersucht. Es wurde beobachtet, dass sich die Amplitudenhöhen der a- und b-Welle bei zunehmenden Trübungen in den Glaskörper verringern. Es bestand ein Zusammenhang zwischen den Glaskörpertrübungen und der a- und b-Wellenamplitude. Zwischen der a- und der b-Wellenamplitude konnte keine Korrelation beobachtet werden.

Tabelle 116: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a- und der b-Welle bei an Glaukom erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode im Unterlid) bei 1,3 Hz

Messgröße	Glaskörpertrübungen	Glaskörpereinlagerungen
a-Wellenamplitude	r = 0,258	r = 0,034
b-Wellenamplitude	r = 0,272	r = 0,034

4.10.16 Untersuchungsgruppe Glaukom I: Zusammenhang zwischen der Hornhauttrübung und den Amplitudenhöhen

Zwischen der Hornhauttrübung und der Amplitudenhöhe der a-Welle konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. Zwischen der Hornhauttrübung und der Amplitudenhöhe der b-Welle bei 1,3 Hz war ein starker Zusammenhang (r = 0,866) erkennbar. Bei zunehmender Trübungen der Hornhaut nahm die Amplitudenhöhe der b-Welle deutlich ab.



Hornhauttrübung: 0 = keine Hornhauttrübung/Ödem, 1 = hauchartige/geringgradige Trübung/Ödem, 2 = hauchartige-rauchige/geringgradige-mittelgradige Trübung/Ödem, 3 = rauchige/mittelgradige. Trübung/Ödem, 4 = rauchigen-milchige/mittelgradige-hochgradige Trübung/Ödem, 5 = milchige/hochgradige Trübung/Ödem

Abbildung 63: Box Plot: Zusammenhang zwischen Hornhauttrübung und Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne Hornhauttrübungen (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Hornhauttrübungen (1 – 5), gemessen nach der Untersuchungsmethode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) bei 1,3 Hz

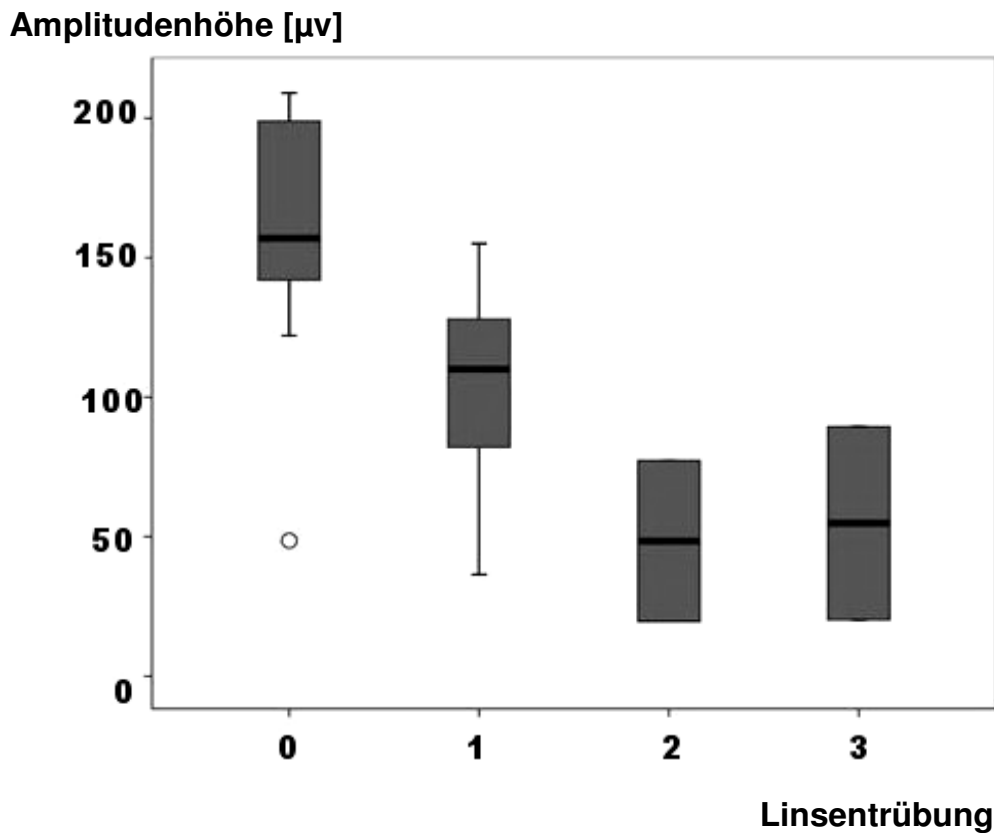
4.10.17 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Pupillenweite und Amplitudenhöhe

Bei diesen Pferden wurden die Messungen nach der Messmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) durchgeführt und es wurde der Zusammenhang zwischen der Pupillenweite und der a- und b-Wellenamplitude bei den Messungen bei 1,3 Hz untersucht. Wie in der Untersuchungsgruppe Uveitis I (siehe Kapitel

4 Ergebnisse

4.10.1) und der Untersuchungsgruppe Uveitis II (siehe Kapitel 4.10.7) nahmen auch bei den an Glaukom erkrankten Augen die Amplitudenhöhen der a- und b-Wellen bei zunehmendem Pupillendurchmesser zu. Zwischen der a-Wellenamplitude und der Pupillenweite lag ein sehr schwacher Zusammenhang vor (bei gesunden Augen: $r = 0,146$, bei an Glaukom erkrankten Augen: $r = 0,154$). Zwischen der b-Wellenamplitude und der Pupillenweite bestand jeweils ein starker Zusammenhang (bei gesunden Augen: $r = 0,539$, bei an Glaukom erkrankten Augen: $r = 0,694$).

4.10.18 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Linsentrübung und Amplitudenhöhe

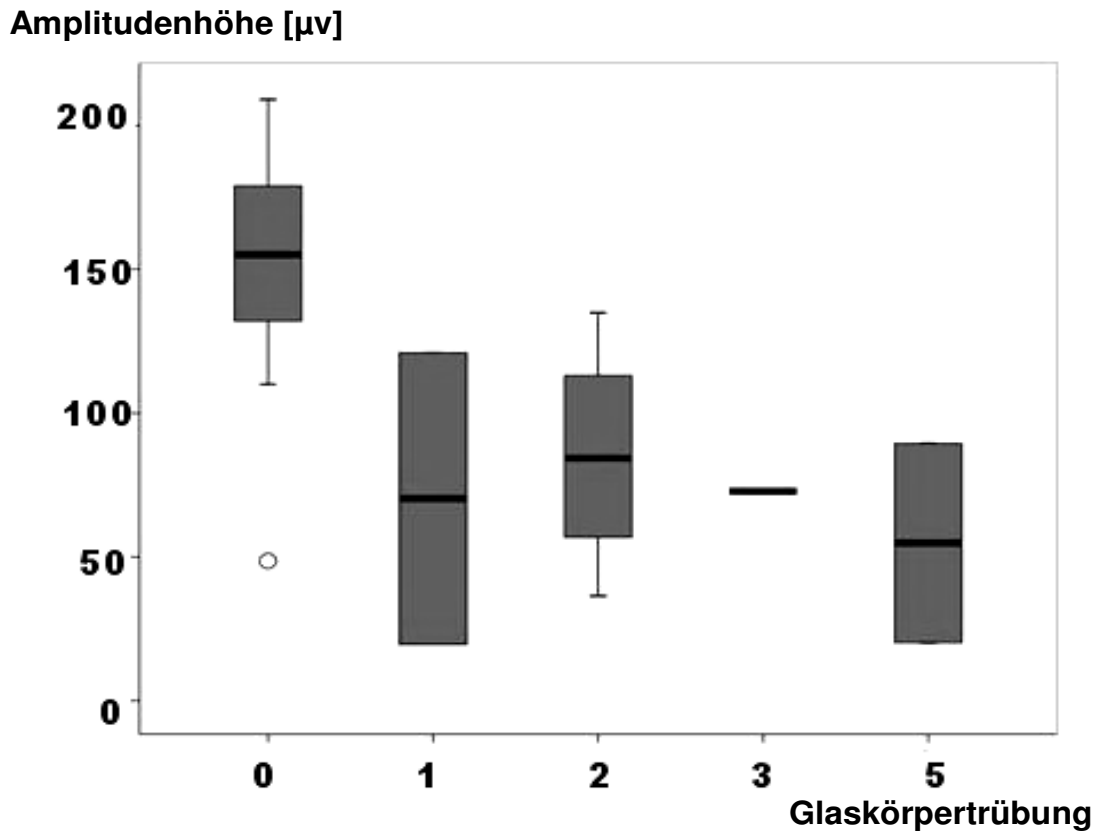


Trübungsgrad der Linse: 0 = keine Trübung, 1 = ggrd. Trübung, 2 = mittelgradige Trübung, 3 = vollständige Trübung

Abbildung 64: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungsgrad der Linse und Amplitudenhöhe der b-Welle bei Augen ohne Linsentrübungen (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Linsentrübungen (1 - 3), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

Bei zunehmender Eintrübung der Linse konnte eine Reduzierung der a- und der b-Wellenamplitude beobachtet werden. Die Zusammenhang zwischen der Amplitudenhöhe und der Linsentrübung war bei der b-Welle stärker ($r = 0,599$) als bei der a-Welle ($r = 0,225$).

4.10.19 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Glaskörpertrübung / einlagerung und Amplitudenhöhe



Trübungen des Glaskörpers: 0 = keine Trübung, 1 = geringgradige Trübung, 2 = geringgradige-mittelgradige Trübung, 3 = mittelgradige Trübung, 4 = mittelgradige-hochgradige Trübung, 5 = hochgradige Trübung

Abbildung 65: Box Plot: Zusammenhang zwischen Trübungen des Glaskörpers und Amplitudenhöhe der b-Welle, bei Augen ohne Trübungen des Glaskörpers (0) und bei an Glaukom erkrankten Augen mit Trübungen des Glaskörpers (1-5), gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

Bei zunehmenden Einlagerungen/Trübungen in den Glaskörper konnte eine Verringerung der a- und der b-Wellenamplitude beobachtet werden.

4 Ergebnisse

Tabelle 117: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Glaskörpertrübungen/einlagerungen und den Amplitudenhöhen der a- und der b-Welle bei an Glaukom erkrankten Augen, gemessen nach der Untersuchungsmethode II (Referenzelektrode ca. 2 cm entfernt vom lateralen Kanthus des zu untersuchenden Auges) bei 1,3 Hz

Messgröße	Glaskörpertrübungen	Glaskörpereinlagerungen
a-Wellenamplitude	$r = 0,778$	$r = 0,355$
b-Wellenamplitude	$r = 0,118$	$r = 0,372$

Bei vermehrte Einlagerungen in den Glaskörper konnte eine Reduzierung der Amplitudenhöhen der a- und b-Welle beobachtet werden. Zwischen dem Parameter Glaskörpertrübung und a-Wellenamplitude ist ein starker Zusammenhang zu beobachten. Es konnte nur eine sehr schwache Korrelation zwischen der b-Wellenamplitude und dem Parameter Glaskörpertrübung beobachtet werden.

4.10.20 Untersuchungsgruppe Glaukom II: Zusammenhang zwischen Hornhauttrübung und Amplitudenhöhe

Es wurde untersucht, ob zwischen der Hornhauttrübung und der Amplitudenhöhe der b-Welle, gemessen bei 1,3 Hz ein Zusammenhang bestand. Ein schwacher Zusammenhang zwischen Amplitudenhöhe und der Hornhauttrübung war nur bei der b-Wellenamplitude ($r = 0,205$) zu erkennen. Es konnte keine Korrelation zwischen der a-Wellenamplitude und der Hornhauttrübung beobachtet werden ($r = 0,051$).

5 Diskussion

5.1 RETIport 32

Das RETIport 32 System der Firma Acri.Tec stellt mit den einfachen Anforderungen an die technische Ausrüstung eine sehr gute Alternative zu anderen elektroretinographischen Messgeräten dar. Durch das geringe Transportgewicht, die geringe Größe, sowie seine Kompaktheit (integrierte Lichtquelle) eignet es sich besonders für den ambulanten Einsatz. Vor allem die benutzerfreundliche Anwendung des Verfahrens mit der die ophthalmologische Untersuchung des Pferdes sinnvoll vervollständigt werden kann, ist für den Einsatz im Klinikalltag von großer Bedeutung. Mithilfe den Messprogramme sind je nach Indikationsstellung neben schnellen und einfachen Übersichtsmessungen auch speziellere Untersuchungen möglich. Wie Marmor et al. (2004) empfahlen, besaß das in der vorliegenden Studie verwendete Gerät RETIport 32 der Firma Acri.Tec für alle ERG–Standardmessungen eine Artefakterkennung von 5 % und das Programm verfügte über ein Kurvenmittelungsprogramm, durch das Schwankungen der Messwerte verhindert und Hintergrundstörgeräusche unterdrückt wurden. Marmor et al. (2004) empfahlen, für ERG–Standardmessungen einen Vorverstärker mit einem Bandpassfilter von 0,3 – 300 Hz und einer Eingangsimpedanz von mindestens 10 M Ω zu arbeiten. Das verwendete Gerät besaß eine Eingangsimpedanz von 2 x 100 m Ω , und eine Frequenzbandbreite von 1 – 300 Hz (Hochpassfilter: 1 Hz; Tiefpassfilter: 300 Hz), wodurch sehr gute Resultat erzielt werden konnten.

Durch den Aufbau des Gerätes auf einem Rollwagen konnte die Distanz zwischen dem Verstärker des RETIport 32 und dem untersuchten Pferd minimiert werden. Das zusätzliche Verdrehen der Elektrodenkabel verhinderte induktive Rückkopplungen. Störströmungen wie von Komaromy et al. (2002) beschrieben konnten somit unterdrückt werden.

5.2 Elektroden

5.2.1 Kontaktlinselektroden

Alle Messungen wurden hier mit der Kooijmanelektrode der Firma Acri.Tec durchgeführt. Die Kooijmanelektrode selbst besitzt keine Brechkraft, sondern besteht lediglich aus einer dünnen Oberflächenschicht zur Diffusion des Lichtes. Durch die Kombination aus aktiver Elektrode und Blitzlicht, die als Kontaktlinseleinheit direkt auf die Kornea aufgesetzt wurde, konnten Bewegungsartefakte, wie sie von Marmor et al. (2004) bei anderen Elektrodenarten beschrieben wurden weitestgehend vermieden werden. Die in der vorliegenden Studie angewendete Kooijmanelektrode mit integrierter LED-Leuchte ist handlich, lässt sich leicht reinigen und eignet sich gut für den Einsatz am Pferd, da eine separate Lichtstimulation, wie sie Rottensteiner (2000) in ihren Untersuchungen verwendete, entfällt. Empfehlenswert wäre lediglich eine größere Auflagefläche der Kontaktlinse, entsprechend der Augengröße bei Pferden. Die Firma Acri.Tec bietet diese in ihrem Sortiment an. Der transparente Kunststoffaufsatz wird auf die verwendete Kooijmanelektrode aufgesetzt, auf die Hornhaut platziert und dort durch den Lidschluss in seiner Position gehalten. Somit entfällt die manuelle Fixation der Kontaktlinse durch eine zusätzliche Hilfsperson.



Abbildung 66: Kooijmanelektrode für elektroretinographische Ableitungen bei Pferden der Firma Acri.Tec

5 Diskussion

Obwohl in der vorliegenden Studie aufgrund der geringen Auflagefläche der Kooijmanelektrode bei den meisten Pferden keine Ganzfeldbeleuchtung erreicht werden konnte (siehe Kapitel 5.6) und die Elektrode von einer Hilfsperson fixiert werden musste, wurde von einem Wechsel der Elektrodenart aus folgenden Gründen abgesehen:

1. In der Literatur (siehe Kapitel 2.8 folgende) wurde öfters erwähnt, dass eine Konstanz des Equipments angestrebt werden sollte
2. Mit der in der vorliegenden Studie verwendeten Kooijmanelektrode konnten gute Messergebnisse erzielt werden und die Kontaktlinse wurde von den meisten Pferden gut toleriert (siehe Kapitel 3.3)
3. Die Kooijmanelektrode für Pferde ist aufgrund ihrer Größe (Durchmesser der Haftschale: 34 mm) mit 554,00 € deutlich teurer als die in dieser Studie verwendete Kooijmanelektrode für Kleintiere mit 468,00 € und einem Durchmesser der Haftschale von 17 mm

Der Gebrauch der Pferdeelektrode ist für eine Neuanschaffung sinnvoll, es konnten jedoch auch mit der Elektrode für Kleintiere auswertbare Ergebnisse erzielt werden. Der Einsatz des in Kapitel 5.4. beschriebenen Miniganzfelds in Kombination mit der Kooijmanelektrode für Pferde (siehe Abbildung 68) ist jedoch als sinnvolle Alternative zu der in der Studie verwendeten Kooijmanelektrode anzusehen.

5.2.2 Nadelelektroden

Rottensteiner (2000) verwendete für ihre Messungen Monopolarnadelelektroden mit Teflonummantelung, die sie vor den Messungen entfernen musste, um die Kontaktfähigkeit für die Messungen zu erhöhen. Die in der vorliegenden Studie verwendeten Nadelelektroden aus Stahl (siehe Kapitel 3.3) besaßen keine Teflonummantelung und eigneten sich sehr gut für die Anwendung beim Pferd. Außer bei sehr kopfscheuen Pferden wurden der Einstich und die Platzierung der Nadeln gut toleriert. Vor jeder Messung wurden die Nadelelektroden auf Korrosion und Verbiegungen überprüft und nach jedem Gebrauch gereinigt und desinfiziert. Nach ca. 8 - 10 gemessenen Pferden wurden die Nadelelektroden ausgewechselt, um Abnutzungserscheinungen und Verfälschungen der Messergebnisse durch Korrosion und Schmutz zu verhindern.

5.2.3 Elektrodenplatzierung

Zu Beginn der Studie wurden die elektroretinographischen Messungen nach der Methode von Rottensteiner (2000) durchgeführt (Referenzelektrode im Unterlid), da sie damit gute Ergebnisse erzielt hatte. In der Literatur wurden von anderen Autoren verschiedene Messmethoden angegeben (siehe Kapitel 2.8). Während des Untersuchungszeitraumes der vorliegenden Arbeit wurden deshalb bei drei Pferden während einer Operation in Vollnarkose bei Helladaptation mehrerer ERGs mit unterschiedlichen Platzierungen der Referenzelektrode abgeleitet (siehe auch Kapitel 4.1), um den Einfluss der Position der Elektroden auf die ERG-Kurven zu evaluieren.

Die durchschnittlichen Amplitudenhöhen der a- und b-Welle der untersuchten Augen (siehe Kapitel 4.1), die nach Methode I (Referenzelektrode subkutan im Unterlid) gemessen wurden, waren deutlich geringer als die Werte, die nach Methode II (Referenzelektrode subkutan ca. 2 cm vom lateralen Augenkantus entfernt) gemessen wurden. Es stellte sich heraus, dass höhere Amplituden erzielt werden konnten, indem die Referenzelektrode weiter entfernt von der aktiven Elektrode platziert wurde (Messmethode II). Eine ähnliche Studie mit vergleichbaren Ergebnissen wurde von Mentzer et al. (2005) durchgeführt (siehe Kapitel 2.8). Bei der Interpretation der Ergebnisse aus Kapitel 4.1 ist zu bedenken, dass die Messungen unter Allgemeinanästhesie durchgeführt worden sind und somit der negative Einfluss des Narkosegases auf das ERG beachtet werden muss. Damit können, die im Vergleich zu den aus Kapitel 4.7 bei gesunden Pferdeaugen erstellten Messergebnissen, geringeren Amplitudenhöhen erklärt werden.

Da bei den Messungen keine Beeinflussung der Position der Erdungselektrode auf die Ergebnisse festgestellt werden konnte wurde diese in der vorliegenden Arbeit stets gleich positioniert (siehe Kapitel 3.3).

Da auch Mentzer et al. (2005) davon abraten, Messergebnisse, die durch unterschiedliche Messmethoden gewonnen wurden, miteinander zu vergleichen, wurden die Ergebnisse der vorliegenden Studie getrennt nach der durchgeführten Messmethode (I und II) betrachtet (siehe Kapitel 4.7 und 4.8).

5.3 Kontaktgel

Zu Beginn der Studie wurden die Leitfähigkeit und die Anwenderfreundlichkeit verschiedener Kontaktgele getestet. Das transparente Viskoelastikum mit dem Wirkstoff Dexpanthenol (Pan Ophthal-Gel® 5%) wies neben einer guten Leitfähigkeit (Eingangsimpedanz zwischen 2 und 5 Ω) eine einfache Handhabung auf, worin ein Vorteil gegenüber anderen Präparaten mit einer sehr flüssigen Konsistenz bestand, da diese meist keinen guten Kontakt zwischen Kontaktlinse und Hornhaut herstellen. Des Weiteren wurde die Hornhaut durch die pflegenden Inhaltsstoffe des Gels vor Austrocknung geschützt. Literaturangaben über die Anwendung eines Dexpanthenolhaltigen Gels bei elektroretinographischen Messungen an Pferden waren nicht vorhanden. Da aber ausschließlich mit diesem Präparat gearbeitet wurde und keine Interferenz während den Untersuchungen registriert wurde, war dem Gebrauch nichts entgegen zu bringen. Alternativ kann ein Methylcellulosehaltiges Präparat verwendet werden (Rotensteiner 2000).

5.4 Beleuchtung bei elektroretinographischen Messungen unter Helladaptation

5.4.1 Hintergrundbeleuchtung

Die von dem Hersteller des RETiport 32 Gerätes empfohlene Hintergrundbeleuchtung von ca. 17 - 34 Lux bei Messungen in Helladaptation (Einzellichtblitz Zapfen-ERG, gemessen bei 1,3 Hz) konnte durch die in der Intensität regulierbare Deckenbeleuchtung des Untersuchungsraums ermöglicht werden: die Umgebungsbeleuchtung, gemessen auf Pferdekopfhöhe, betrug bei den ERG - Messungen in Helladaptation: ungefähr 22 - 25 Lux. Vor den Messungen wurde eine 10 minütige Adaptation der Augen an diese Raumbelichtung durchgeführt, wie sie von Marmor et al. (2004) empfohlen wird.

5.4.2 Lichtquelle und Beleuchtungsfrequenz

Wie auch Schwind (1997) behauptete, wurde in der vorliegenden Arbeit keine Fusion der Rezeptorpotentiale bei den Messungen mit einer Frequenz von 1,3 Hz beobachtet und durch eine Kurvenmittelung konnten eventuell auftretende 50 Hz Artefakte aus dem Stromnetz gut minimiert werden. Neben den Einzellichtblitz ERGs (Frequenz: 1,3 Hz) konnten auch Flicker ERGs mit einer höheren Lichtblitzfrequenz (28 Hz) aufgezeichnet werden. Die von Rot-

5 Diskussion

tensteiner (2002) beschriebene Problematik, dass die Pferde bei dieser Lichtreizfrequenz das von der Stimulatorlampe produzierte knackende Geräusch während der Messungen nicht geduldet haben, trat bei der verwendeten geräuschlosen LED-Lichtquelle des Gerätes RETIport 32 der Firma Acri.Tec nicht auf.

Die in dem Gerät eingestellte und bei den Messungen verwendete Lichtintensität von 0 dB entsprach einer Beleuchtungsintensität von $3 \text{ cd} \cdot \text{s}/\text{m}^2$. Komaromy et al. (2003) arbeiteten in ihren Studien ebenfalls mit dieser Beleuchtungsintensität.

Laut Acland (1988) sind Weißlichtblitze ausreichend, um eine Aussage über die Reaktionsfähigkeit der gesamten Netzhaut (Zapfen und Stäbchen) zu erstellen. Da in der vorliegenden Studie keine separate Betrachtung der Zapfen- und Stäbchensysteme sondern nur eine Aussage über die gesamte Netzhautfunktion erstellt werden sollte, wurden bei allen Pferden die photopischen ERG-Messungen mit Weißlichtblitzen ohne Farbfilter bei einer Lichtintensität von 0 dB durchgeführt. Auch Nafstrom et al. (2002) raten dazu, bei ERG Standarduntersuchungen mit Weißlichtblitzen zu arbeiten. Sie führen an, dass farbige Lichtblitze oder eine farbigen Hintergrundbeleuchtung bei spezieller Fragestellung eingesetzt werden können.

Komaromy et al. (2003) verwendeten zusätzlich zu ihrer Lichtquelle noch einen Lampenschirm, um damit eine Beleuchtung der gesamten Netzhaut (Pseudoganzfeld) zu erreichen. Die Firma Acri.Tec bietet in ihrem Sortiment eine Beleuchtungseinheit mit einem Miniganzfeld für die Anwendung bei Pferden an, mit dem bei maximaler Mydriase eine Ganzfeldbeleuchtung erreicht werden kann.



Abbildung 67: Miniganzfeld der Firma Acri.Tec für elektroretinographische Ableitungen beim Pferd der Firma Acri.Tec

Für weitere Untersuchungen wäre es möglicherweise sinnvoll, mit diesem Zusatzgerät zu arbeiten, um eine gleichmäßige und vollständige Netzhautbeleuchtung zu erhalten. Allerdings sollte dabei auf die Akzeptanz der Pferde geachtet werden, da eventuell mit Abwehrbewegungen zu rechnen ist. Da mit der gewählten Untersuchungsmethode (siehe Kapitel 3.5) kaum Abwehrbewegungen beobachtet wurden, und eine Standardisierung der Untersuchungsmethode erwünscht war, wurde von einem Einsatz des Miniganzfelds während des Untersuchungszeitraumes abgesehen.

5.5 Beleuchtung und Adaptationszeit bei elektroretinographischen Messungen bei Dunkeladaptation

Rottensteiner (2000) führte vor ihren skotopischen Messungen zuerst eine 10 minütige Präadaptation an die Raumbeleuchtung und eine anschließende 30 minütige Dunkeladaptation der Pferdeaugen durch. Laut Komaromy et al. (2003) ist eine 20 minütige Adaptationsphase ausreichend. Da Francois et al. (1980) und Reitenauer (1993) nach einer 30 minütigen und Wouters et al. (1990) nach einer 40 minütigen Dunkeladaptationszeit keine weitere Amplitudensteigerung der a- und der b-Welle mehr beobachten konnten, wurde in dem vorliegenden Untersuchungsprotokoll für die Ableitung eines skotopischen ERGs eine Dunkeladaptationszeit von insgesamt 30 Minuten gewählt.

Während der Messungen in Dunkeladaptation arbeitete Rottensteiner (2000) mit einer Raumbeleuchtung von 0,6 Lux (gemessen auf Höhe des Pferdekopfes) und konnte dabei keinen Einfluss der Restbeleuchtung auf die ERG-Messergebnisse feststellen. In der vorliegenden Studie wurden die Messungen bei dunkeladaptiertem Auge abends in einem separaten Untersuchungsraum mit verdunkelten Fensterscheiben und bei einem geringen Orientierungslicht durch eine Rotlichtlampe (ca. 0,5 Lux gemessen auf Pferdekopfhöhe) durchgeführt. Dabei wurde ebenfalls kein Einfluss auf die Messergebnisse beobachtet und die Restbeleuchtung war für eine Orientierung im Raum und die Durchführung der Messungen ausreichend.

5.6 Pupillendurchmesser

Laut Marmor et al. (2004) sollten bei alle ERG Ableitungen die Pupillen maximal dilatiert und der Durchmesser protokolliert werden. Dieser Aspekt wurde in der vorliegenden Studie

5 Diskussion

berücksichtigt, indem bei allen Pferden ca. 10 Minuten vor Messbeginn ein kurzwirksames Mydriatikum (Tropicamid), wie es auch von anderen Untersuchern verwendet wird (Komaromy et al. 1998b; Rottensteiner 2000, Komaromy 2003), in die Augen appliziert und kurz vor Messbeginn der Pupillendurchmesser abgeschätzt wurde. Da langwirksames Atropin nur bei gleichzeitig erwünschtem therapeutischem Wert eingesetzt werden sollte, wurde es in der vorliegenden Untersuchung nicht angewendet.

Laut Gerätehersteller kann eine Ganzfeldbeleuchtung der Netzhaut nur erreicht werden, wenn der Pupillendurchmesser kleiner ist, als die Auflagefläche der Kontaktlinselektrode. In der vorliegenden Studie konnte bei den meisten Pferden (gesunden Augen und erkrankten Augen ohne Verklebungen zwischen Iris und Linsenvorderfläche) vor den elektoretinographischen Messungen eine Mydriase erreicht werden. Bei diesen Pferden war der Pupillendurchmesser größer als die Auflagefläche der aktiven Kooijmanelektrode und der Lichtquelle und es konnte somit keine Ganzfeldbeleuchtung erreicht werden. Der Einfluss der Pupillenweite, vor allem unter photopischen Bedingungen, kann laut Hoffman et al. (1978) und Spiess (1994) bei einer Teilbeleuchtung der Netzhaut prinzipiell vernachlässigt werden. Kooijman (1986) hingegen behauptet, dass die Lichtstreuung generell nur zu einem geringen Grad von dem Pupillendurchmesser beeinflusst wird.

Bei einigen Pferden wurde aufgrund erkrankungsbedingten Verklebungen der Iris mit der Linse und zeitlicher Einschränkungen keine maximale Pupillenweitstellung vor Messbeginn erreicht. Da bei diesen Pferden die Pupillenweite kleiner als die Auflagefläche der Lichtquelle war, erfolgten diese Messungen unter Ganzfeldbeleuchtung.

Der Einfluss der Pupillenweite auf die Amplitudenhöhe der a- und b-Welle wurde bei der Untersuchungsgruppe Uveitis I (siehe Kapitel 4.10.1), bei der Untersuchungsgruppe Uveitis II (siehe Kapitel 4.10.7) sowie bei der Untersuchungsgruppe Glaukom I und Glaukom II (siehe Kapitel 4.10.16) überprüft. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei zunehmender Pupillenweite höhere Amplitudenwerte, vor allem bei der b-Wellenamplitude gemessen werden konnten. Eine Erklärung für diesen Zusammenhang könnte sein, dass bei zunehmender Pupillenweite mehr Photonen auf die Netzhaut trafen und dadurch mehr Rezeptoren angeregt wurden. Dadurch verstärkte sich die Summenantwort und höhere Amplitudenwerten wurden gemessen.

Des Weiteren wurde der Einfluss der Pupillenweite auf die Latenzen der a- und b-Wellenamplitude bei den an Uveitis erkrankten Pferdeaugen (siehe Kapitel 4.10.2 und 4.10.8) untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass bei zunehmender Pupillenweite die Latenzen der b-

Welle verkürzt waren. Eine Verkürzung der a-Wellenlatenz bei zunehmendem Pupillendurchmesser wurde nur bei der Untersuchungsgruppe Uveitis II beobachtet. Diese Ergebnisse entsprachen der Aussage von Hoffman et al. (1978) und Spiess (1994), die behaupteten, dass der beschriebene Effekt bei Ganzfeldbeleuchtung sich vorwiegend auf die Amplituden, nicht aber auf die Latenzen auswirkt.

5.7 Sedierung bei der elektroretinographischen Messung unter Helladaptation

Wie Marmor et al. (2004), Spiess (1994) und Matz et al. (1993) in ihren Arbeiten beschrieben haben, konnte auch in der vorliegenden Studie bei sedierten Pferden elektroretinographische Messungen durchgeführt werden und dabei nur ein geringer Einfluss des Sedativums auf die ERG Amplituden beobachtet werden. Die von Rottensteiner (2000) gewählte Sedierung mit Romifidinhydrochlorid (Sedivet[®] 0,08 mg/kg) wurde in der hier vorliegenden Studie bei zwei Patienten in einer Konzentration von 0,08 – 0,12 mg/kg angewendet. Allerdings zeigten diese Pferde mit dieser Sedation während der Messung eine starke Hyperästhesie und Zucken bei Manipulation am Kopf, weshalb von einem weiteren Gebrauch von Romifidinhydrochlorid abgesehen wurde. Die Messergebnisse dieser Pferde zeigten starke Artefaktüberlagerungen und wurden deshalb nicht in die Auswertung miteinbezogen.

Brooks (1999) verwendete für die Durchführung von ERGs und VEPs bei Pferden als Sedierung Xylazin in einer Dosierung von 0,5 mg/kg und Komaromy et al. (2003) sedierten die Pferde vor den Messungen mit Detomidinhydrochlorid (0,015 mg/kg). Da nach Meinung von Komaromy et al. (2003) mit dieser Sedierung eine ausreichende Immobilisierung für die elektroretinographischen Untersuchungen gegeben war, wurde auch in den meisten Fällen der vorliegenden Studie damit gearbeitet. Es wurden dabei zwei unterschiedliche Sedierungskombinationen verwendet: Xylazin (Xylanest[®] 0,4 mg/kg) oder Detomidinhydrochlorid (Domosedan[®] 10 - 20 µg/kg) in Kombination mit Levomethadon (Polamivet[®] 0,075 mg/kg). Der Grund für die Anwendung dieser unterschiedlichen Kombinationen lag darin, dass das ERG häufig zwischen Narkose-Prämedikationen und Narkoseeinleitung durchgeführt wurde. Es konnte kein Unterschied zwischen den zwei verwendeten Sedierungskombinationen bei den elektroretinographischen Messungen festgestellt werden.

5 Diskussion

Laut Komaromy et al. (2003) ist eine Sedierung der Pferde ausreichend, um zeitgleich an beiden Augen ein ERG abzuleiten. Die von den Autoren geäußerte Befürchtung, dass bei einer nicht simultanen Messung beider Augen eventuell eine Nachdosierung von Detomidinhydrochlorid notwendig sein könnte, trat in der vorliegenden Studie nur bei 2 Patienten während der Messungen bei Helladaptation und bei den Messungen bei Dunkeladaptation auf. Trotz der eingeschränkten Messmethoden (das Gerät besaß nur einen Verstärkerkanal, weshalb nur ein Auge auf einmal gemessen wurde) konnten die Untersuchungen innerhalb von ca. 10-15 Minuten durchgeführt werden.

Obwohl Komaromy et al. (2003) zur Minimierung von Bewegungsartefakten bei elektoretinographischen Messungen den N. auriculopalpebralis anästhesierten, wurde dies bei der vorliegenden Untersuchung nach Nutzen–Risiko–Abwägung nicht durchgeführt. Selbst mit einer Anästhesie des N. auriculopalpebralis können Bewegungsartefakte nicht ausgeschlossen werden und dadurch eingeschränkte Lidmotorik kann das Entstehen von Hornhautdefekte begünstigen. Bei den meisten sedierten Pferden konnte bei ruhigem und vorsichtigem Umgang das ERG in Helladaptation ohne Bewegungsartefakte abgeleitet werden. Pferde, die aufgrund einer schmerzhaften und langwierigen Erkrankung am Auge sehr kopfscheu waren und bei denen die Kurven viele Bewegungsartefakte aufweisen, wurden nicht in die statistische Auswertung miteinbezogen.

Bei 3 Pferden konnten elektoretinographische Messungen ohne medikamentöse Ruhigstellung durchgeführt werden. Laut Acland (1988) lagen noch keine Durchführungs- und Wertestandards für ERG–Ergebnisse, die ohne Sedierung abgeleitet wurden vor. Ferner ist am nicht entspannten Tier mit einer erhöhten Muskelaktivität zu rechnen (Komaromy et al. 2002). Die Durchführung der ERG-Messungen bei den 3 Patienten ohne Sedierung war für das Personal aufgrund häufiger Unterbrechungen frustrierend (verstärkte Abwehrbewegungen der Pferde) und stellt eine unerprobte Methode dar, weshalb in der vorliegenden Studie bei den anderen elektoretinographischen Messungen ein Sedativum verwendet wurde. Das Auftreten von Bewegungsartefakten konnte dadurch minimiert werden. Mit einer Sedierung kann generell eine qualitative ERG-Messmethode ohne größere Störfaktoren durchgeführt werden und bietet dadurch eine gute, risikoarme und einfach zu handhabende Alternative zur elektoretinographischen Messung in Vollnarkose dar.

5.8 Sedierung bei der elektroretinographischen Messung unter Dunkeladaptation

Bei der Ableitung skotopischer ERGs wurde aufgrund der langen Messdauer von ungefähr 50 - 60 Minuten (Dunkeladaptationsphase und mehrere Messschritte) eine stärkere Sedierung bzw. eine Nachdosierung des Beruhigungsmittels als bei der Messung unter photopischen Bedingungen benötigt. Trotz der stärkeren Dosierung konnte kein Einfluss des Sedativums auf die elektroretinographischen Messungen beobachtet werden.

5.9 Störfaktoren bei der Messung

Komaromy et al. (2002) wiesen darauf hin, dass bei der Interpretation eines ERGs der Einfluss technischer Faktoren beachtet werden muss. Diese könnten seiner Meinung nach die Messungen in dem Maße beeinträchtigen, dass das ERG eines gesunden Auges Potentialänderungen aufweist, welche für gewöhnlich nur bei erkrankten Augen beobachtet wurden. Aufgrund dieser Aussage wurden vor jeder Untersuchung sämtliche elektronischen Geräte im Untersuchungsraum abgeschaltet.

Die bei Rottensteiner (2000) beschriebenen Störfaktoren wie Rollbewegungen des Bulbus, Zwinkern und Blepharospasmus als Reaktion auf die Lichtblitze bei vorbehandelten, kopfscheuen Pferden traten in den vorliegenden Untersuchungen mit dem Gerät RETIport 32 der Firma Acri.Tec nur vereinzelt auf. Bei den Tieren, die zu Beginn der Messung starkes Lidkneifen zeigten, wurde die Untersuchung für ein paar Minuten unterbrochen und je nach Bedarf noch etwas Lokalanästhetikum auf die Hornhaut appliziert. Meist konnte die Messung dann ohne weitere Schwierigkeiten fortgeführt werden. Ein Pferd, das an einem Glaukom erkrankt war, zeigte während der gesamten Untersuchung heftiges Lidkneifen an beiden Augen, was wahrscheinlich auf die lange und schmerzhaftes Erkrankungsdauer zurückzuführen war. Die ERG-Kurven waren stark von Artefakten überlagert, weshalb sie in der statistischen Bewertung nicht berücksichtigt wurden. Die gewonnenen Messwerte reichten allerdings aus, um eine Aussage über die Integrität und die Restfunktionsfähigkeit der Netzhaut zu erstellen.

Rottensteiner (2000) beobachtete das Auftreten von photogalvanischen Lichtartefakten zu Beginn der ERG-Kurven. Diese Artefakte könnten nach Meinung der Autorin vor allem bei Augen mit erloschenem ERG fälschlicherweise als Restfunktionen der Netzhaut interpretiert werden. Durch die Artefakterkennung des RETIport 32 Geräts der Firma Acri.Tec werden

solche Störfaktoren automatisch gefiltert. Da die empfangenen Messsignale, die von einem Lidschlag oder durch eine Augenbewegung ausgelöst wurden um ein vielfaches größer waren als die elektrischen Potentiale, die von der Retina stammen, waren diese leicht zu erkennen und wurden nicht mit in die Auswertung der Messergebnisse einbezogen.

5.10 Wahl des elektroretinographischen Untersuchungsprotokolls

Wie Komaromy et al. (1998) empfahlen, wurde die elektroretinographischen Ableitungen in der vorliegenden Studie anhand eines zuvor erstellten Messprotokolls durchgeführt. Rottensteiner (2000) behauptete, dass bei Pferden, die geringgradige Trübungen der optischen Medien aufwiesen eine elektroretinographische Ableitung in Helladaptation ausreichend war, um eine Aussage über die Funktionalität der Netzhaut zu stellen. Aufgrund dieser Aussage und der Tatsache, dass in der vorliegenden Studie vor jeder elektroretinographischen Messung eine ophthalmologischen Untersuchung mit Dokumentation aller pathologischen Abweichungen am Auge erfolgte, wurde kein ausführlicheres Messprogramm, wie es andere Autoren bei Kleintieren beschrieben haben verwendet. Zudem bestand das Ziel dieser Studie darin, den Funktionszustand der gesamten Netzhaut und nicht nur bestimmter Netzhautareale zu dem gegebenen Zeitpunkt zu überprüfen. Da laut Rottensteiner (2000) eine elektroretinographische Messung unter Dunkeladaptation nur bei besonderer Indikationsstellung erforderlich war und eine größere Belastung für Pferd und Untersucher dargestellt hat (längere Sedierung aufgrund des langen Untersuchungszeitraumes) wurde in der vorliegenden Studie nur bei zwei Pferden eine Messung unter Dunkeladaptation durchgeführt.

Bei den Patienten, die eine starke Amplitudenreduktion bis hin zur Auslöschung des ERGs aufwiesen wurden Wiederholungsmessungen, zum Teil auch mit einer höheren Lichtintensität durchgeführt, um eine Fehlinterpretation der Messergebnisse auszuschließen. Erst nachdem sich die Messergebnisse reproduzierbar waren, wurde der Funktionszustand der Netzhaut anhand der Messwerte beurteilt.

5.11 Beurteilung der Kurven und Auswertung der Messergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden mithilfe des Messprogramms der Firma Acri.Tec die Latenzen und die Amplitudenhöhen der a- und b-Wellen gemessen. ERG-Kurven, die stark von

5 Diskussion

Bewegungsartefakten oder Störströmungen überlagert waren, wurden nicht in die Auswertung miteinbezogen. In vielen der in der Tiermedizin bisher veröffentlichten Publikationen wurde die c-Welle bei verschiedenen Erkrankungen am Visus als meist unveränderte Komponente beschrieben (Acland 1988; Sims 1999). Bei den vorliegenden Messergebnissen wurde deshalb die Auswertung der c-Wellenamplitude vernachlässigt.

Die Messergebnisse der vorliegenden Studie (Amplitudenhöhen und der Latenzen der a- und b-Wellen, gemessen bei 1,3 Hz) sind mit den in Kapitel 2.15 angegebenen Referenzwerte vergleichbar. Die hohen Standardabweichungen der Referenzwerte gesunder Augen der vorliegenden Arbeit (siehe Kapitel 2.15) wurden auch bei anderen Autoren beschrieben. Bei der statistischen Auswertung wurden deshalb neben dem Mittelwert (\bar{x}) und der Standardabweichung (SD) auch der Median und der Range (Minimum und Maximum) berechnet. Anhand dieser Parameter konnte ein guter Vergleich der Messwerte gesunder und kranker Augen untereinander durchgeführt werden (siehe Kapitel 4.7, 4.8 und 4.9). Die Werte der kranken Augen wurden mit denen der gesunden Augen desselben Tieres und mit denen anderer Pferde verglichen. Diese Methode wurde auch von Komaromy et al. (1998a) empfohlen. Bei der Beurteilung wurden auch die Messbedingungen (Pupillendurchmesser, Veränderungen der inneren Augenstrukturen) beachtet.

Rottensteiner (2000) konnte für die Reproduzierbarkeit bei hintereinander durchgeführten und bei zeitlich versetzten Messungen größere Unterschiede bei den Latenzen der a- und b-Wellen als bei den Amplitudenhöhen erkennen, weshalb sie den Latenzen mehr Bedeutung zugerechnet hat. Bei dem Vergleich der Latenzen traten in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den Amplituden hingegen deutlich geringere Messunterschiede auf, weshalb diese bei der Auswertung eher vernachlässigt wurde. Entscheidend war bei den Messungen vor allem, welcher Wert die a- und b-Wellenamplituden betrug, da anhand dieser Werte eine Aussage über die Integrität und Funktionalität der Netzhaut erstellt werden konnte. Auch Komaromy et al. (1998) beurteilten bei der Auswertung der ERG-Kurven vor allem die Höhe der b-Wellenamplitude, da diese bei einem normalen ERG die größte Kurvenwerte erreicht und sie einfach zu messen ist. Eine Abnahme der Amplitudenhöhe interpretierten sie als eine Reduktion der Anzahl funktionsfähiger Photorezeptorzellen und oder eine gestörte Weiterleitung über die Bipolarzellen. Anhand der Latenzen konnte nur festgestellt werden wann, aber nicht in welchem Umfang elektrische Potentiale der Netzhaut messbar waren.

Den ERG-Kurven, gemessen bei einer Frequenz von 28 Hz nur bedingt aussagekräftig sind wurde diesen weniger Bedeutung zugemessen, als den Ergebnissen der Messungen bei 1,3

Hz. Liegt bei einer normalen ERG Antwort (1,3 Hz) eine verminderte Reaktion der Netzhaut auf die Flickerfrequenzlichtintensität (28 Hz) vor, kann dies auf eine Zapfendysfunktion hinweisen.

5.12 ERG-Ergebnisse bei Helladaptation

Da sich die in dieser Untersuchung gewählten Messmethoden von den bei Reitenauer (1993), Rottensteiner (2000), Komaromy et al. (2003) und Brooks (1999) angewandten Untersuchungsmethoden unterschieden, ist kein direkter Vergleich zwischen den veröffentlichten und den in dieser Arbeit vorliegenden Messergebnissen möglich (siehe Kapitel 2.15).

Matz et al. (1993) führten ihre elektroretinographischen Messung nicht unter standardisierten und reproduzierbaren Bedingungen durch, weshalb sie dadurch bedingte Messunterschiede bei den Latenzen und den Amplitudenhöhe der a- und b-Welle nicht ausschließen konnten. Des Weiteren liegen keine veröffentlichten Angaben über die verwendete Lichtintensität vor, weshalb kein direkter Vergleich zwischen den angegebenen und den in der vorliegenden Studie gewonnenen Messergebnissen gestellt werden konnte.

5.12.1 ERG bei Helladaptation mit unterschiedlichen Lichtintensitäten bei Uveitispatienten

In der vorliegenden Arbeit wurde bei sieben Pferden, die an einem Auge an einer Uveitis erkrankt waren nach der Standard ERG-Messung mit 0 dB, noch 2 weitere Messungen bei einer höheren Lichtintensität (5 dB und 10 dB) durchgeführt (siehe Kapitel 4.2). Dabei konnten Amplitudensteigerungen der a- und b-Welle beobachtet werden. Durch diese Ergebnisse könnte die Aussage von Sims (1999a) bekräftigt werden, dass eine stark streuende stroboskopische Lichtquelle viele Zellen der Netzhaut anregt und höhere Amplitudenwerten gemessen werden können. Der von Galloway (1988) bei Dunkeladaptation beschriebene Effekt, bei dem die b-Welle bei hohen Lichtintensitäten ein Maximum erreicht und danach nicht mehr ansteigt, wobei die a-Wellenamplitude stetig zunimmt, konnte zum größten Teil auch in der vorliegenden Untersuchung bei Helladaptation beobachtet werden. In der vorliegenden Studie lagen die bei 5 dB und 10 dB gemessenen Amplitudenhöhen der b-Welle über den bei 0 dB gemessenen Werten. Allerdings wurde bei 4 gesunden und bei 3 an Uveitis erkrankten Pferdeaugen bereits bei 5 dB und nicht erst bei 10 dB der höchste Amplitudenwert gemessen, was der Aussage von Galloway (1988) entspricht. Bei 2 an Uveitis erkrankten Pferdeaugen konnte

5 Diskussion

keine Steigerung der a-Wellenamplitude mehr von 0 auf 5/10 dB gemessen werden. Bei beiden Augen waren Einlagerungen in dem trüben Glaskörper vorhanden und bei einem Pferd bestand zusätzlich eine mature Katarakt. Es wurde jedoch bei diesen Pferden eine Steigerung der b-Wellenamplitude mit zunehmender Lichtintensität gemessen. Bei einem gesunden und bei einem an Uveitis erkrankten Pferdeauge lag die bei 10 dB gemessenen Amplitudenhöhe der a-Welle zwar über den bei 0/5 dB gemessenen Werten, jedoch konnte keine Steigerung der Amplitudenhöhe von 0 auf 5 dB gemessen werden. Bei dem an Uveitis erkrankten Auge konnte jedoch bei der b-Welle mit zunehmender Lichtintensität eine Steigerung der Amplitudenhöhe gemessen werden.

Bei den Netzhautzellen, die eventuell durch die Uveitis schon vorgeschädigt waren und bei denen mit der Standardlichtintensität von 0 dB keine oder kaum eine Antwort messbar war, kann davon ausgegangen werden, dass bei Messungen mit höheren Lichtintensität elektrische Potentiale gemessen werden können. Eine allgemein gültige Interpretation der Messergebnisse ist aufgrund der geringen Fallzahl der vorliegenden Studie nicht möglich.

Wie Rottensteiner (2000) beschrieben hat, konnte auch in der vorliegenden Untersuchung festgestellt werden, dass die Latenzen der b-Wellenamplitude bei den Messungen mit höheren Lichtintensitäten verlängert waren. Rottensteiner (2000) beobachtete außerdem bei höheren Lichtintensitäten eine Verkürzung der a-Wellenlatenz. In der vorliegenden Studie konnte bei den meisten Pferden eine Verlängerung und nur bei wenigen Pferden ein Verkürzung der a-Wellenlatenz bei zunehmender Lichtintensität gemessen werden (siehe Kapitel 4.2). Dies entspricht der Aussage von Spiess und Leber-Zurcher (1992), die bei höheren Lichtintensitäten längere Gipfelzeiten gemessen haben.

Aufgrund des längeren Untersuchungszeitraumes bei den Wiederholungsmessungen und um eine Standardisierung der Untersuchung beizubehalten wurde bei den anderen Pferden nur mit der Lichtintensität von 0 dB gemessen.

5.12.2 ERG bei Helladaptation mit unterschiedlichen Lichtintensitäten bei Glaukompatienten

Über die Auswirkungen des Glaukomes auf die retinalen Ganglienzellen bestehen unterschiedliche Hypothesen. Die equine Netzhaut besitzt eine hohe Anzahl an optischen Nervenaxonen mit einem großen Durchmesser, bei denen ein Kollabieren der Axone und somit ein Funktionsverlust dieser bei einer Druckerhöhung zu erwarten wäre. Bei equinen Glaukompatienten konnte jedoch im Vergleich zu den humanen Glaukompatienten, die mehr Axone mit

5 Diskussion

kleinerem Durchmesser besitzt, bei erhöhtem Intraokulardruck länger ein funktionsfähiger Visus beobachtet werden. Aufgrund der makromolekulare Struktur der equinen *Lamina cribrosa* gehen Brooks et al. (2000) davon aus, dass diese eine sehr belastbare Struktur ist, die den Axonen des Nervus opticus bei Episoden von erhöhtem Intraokulardruck einen gewissen Schutz bieten kann. Gilger (2005) erwähnte die Möglichkeit, dass das Pferdeauge über ein „Reservoir“ an retinalen Ganglienzellen und Axonen verfügen könnte, durch das trotz der fortschreitenden Glaukomerkrankung das Sehvermögen erhalten werden kann. Ferner erwähnte er die Möglichkeit, dass diese Axone erst zu einem sehr späten Erkrankungsstadium kollabieren könnten. Eine generell gültige Aussage kann momentan jedoch nicht gestellt werden.

Bei drei Patienten bei denen ein Glaukom und eine mature Katarakt diagnostiziert wurde und bei denen der Verdacht auf Erblindung vorlag, wurde aus wissenschaftlichem Interesse zusätzlich noch ein ERG bei einer Lichtintensität von 5 dB (entsprechen $15 \text{ cd}^*\text{s}/\text{m}^2$) und ein ERG bei 10 dB (entsprechen $30 \text{ cd}^*\text{s}/\text{m}^2$) abgeleitet. Es sollte getestet werden, ob damit eine stärkere Reizung und Antwort der Retina gemessen werden kann und es sollte überprüft werden, welchen Einfluss die Medientrüben auf die Messergebnisse besitzen.

Bei den Messungen mit höheren Lichtintensitäten waren sowohl bei den erkrankten, als auch bei den gesunden Augen häufig die Latenzen der a- und b-Welle verlängert (siehe Kapitel 4.3). Die Amplitudenhöhen der a- und b-Welle nahmen sowohl bei den erkrankten als auch bei den gesunden Augen mit steigender Lichtintensität zu, jedoch wurde der Maximalwert teilweise bereits bei einer Lichtintensität von 5 dB erreicht. Die Messung mit der höheren Lichtintensität (10 dB) ergab bei diesen Fällen keine weitere Amplitudensteigerung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei allen 3 Pferden die Netzhaut noch eine gute Funktion aufwies. Wie in Kapitel 5.13 erläutert, kann ein Lichtstimulus mit einer höheren Intensität bei Patienten mit Opazitäten der optischen Medien eine Amplitudenzunahme bewirken und einem normalen ERG in Kurvenverlauf und dessen absoluten Werten ähneln.

In Zukunft wäre es sinnvoll bei unklaren Fällen eine ausführlichere Untersuchungstechnik mit mehreren Lichtintensitäten (z.B. 5 und 10 dB) wie sie auch Acland (1988) empfahl durchzuführen. Mit dem verwendeten Gerät lassen sich auf relativ einfache Art und Weise Untersuchungsprogramme modifizieren und erweitern, jedoch hätten diese zusätzlichen Messungen aller Pferde dieser Studie den zeitlichen Rahmen überschritten. Um den elektroretinographischen Untersuchungsgang so kurz wie möglich zu halten, wurde das ERG somit bei den meisten Pferden nur mit der als Standard festgelegten Lichtintensität von 0 dB ($3 \text{ cd}^*\text{s}/\text{m}^2$) gemes-

sen. Außerdem ist laut Acland (1988) ein ERG, dass bei extrem hellem Licht abgeleitet wurde nicht immer ein sensibler Test für die Überprüfung des Erkrankungsstatus der Netzhaut.

5.13 ERG bei Dunkeladaptation

Wie Komaromy et al. (2003) bei ihren Messungen beobachteten, konnten auch in der vorliegenden Untersuchungen sowohl bei dem augengesunden Pferd (II), als auch bei dem Pferd mit Verdacht auf Nachtblindheit (I) während der Messung (Untersuchungsgang Teil 1) Amplitudensteigerungen der b-Welle bei zunehmender Dunkeladaptationszeit gemessen werden. Eine Verlängerung der Latenzzeiten bei zunehmender Dunkeladaptationszeit, wie sie von Komaromy et al. (2003) beschrieben wurde konnte in der vorliegenden Untersuchung bei keinem der untersuchten Pferde beobachtet werden (siehe Kapitel 3.4 und 4.6). Von einem direkten Vergleich der vorliegenden mit den in der Literatur angegebenen (siehe Kapitel 2.16) Messergebnissen wurde abgesehen, da sich die Messmethoden voneinander unterscheiden.

Über den Untersuchungsablauf und das erstellte Messprotokoll lässt sich festhalten, dass bei einer ausreichenden Sedierung der Pferde mit Domosedan[®] (Detomidinhydrochlorid 15 - 20 µg/kg) in Kombination mit Levomethadon (Polamivet[®] 0,075 mg/kg), einer adäquaten Raumbeleuchtung zur Orientierung und ausreichend Hilfspersonal (2 - 3 Arbeitskräfte) das verwendete Messprotokoll eine gute, anwenderfreundliche und objektive elektroretinographische Testmethode bei Dunkeladaptation darstellt. Mit dem Messprotokoll können die Stäbchen und Zapfen getrennt nach ihrer Funktion untersucht werden und es wurden somit alle notwendigen Parameter für den Ausschluss oder die Bestätigung eines Verdachtes auf Nachtblindheit berücksichtigt. Weitere Untersuchungen auf andere Erkrankungen, die vorwiegend das Stäbchensystem beeinträchtigen können, wurden nicht durchgeführt. Das Messprotokoll stellt dafür aber eine gute Basis dar.

5.14 ERG bei Dunkeladaptation bei einem Pferd mit Nachtblindheit

In der vorliegenden Studie wurden wie in der Literatur beschrieben (siehe Kapitel 2.16) die Referenzwerte für die elektroretinographischen Messungen mit den Ergebnissen eines augengesunden Pferdes erstellt. Aufgrund der langen Untersuchungsdauer und der zusätzlichen Belastung durch die Sedierung wurde in der vorliegenden Arbeit die elektroretinographische Untersuchung bei Dunkeladaptation nur bei einem augengesunden Pferd (Pferd II) durchgeführt.

Wie Witzel und Rüs (1978) bei ihren Untersuchungen beschrieben haben, konnten bei der ophthalmologischen Untersuchung des vorgestellten Pferdes mit Verdacht auf Nachtblindheit keine pathologischen Abweichungen der Augen festgestellt werden. Bei der Auswertung der Ergebnisse traten, ähnlich wie in der Arbeit von Rottensteiner (2000) sowie Witzel und Rüs (1978) erhebliche Unterschiede der Messergebnisse zwischen den Werten des augengesunden und des Pferdes mit Verdacht auf Nachtblindheit auf. Die Ergebnisse des Pferdes I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) lagen deutlich unter denen von Pferd II (gesund). Bei der Untersuchung des augengesunden Pferdes wurde das Maximum der b-Wellenamplitude (223 μV) bereits nach einer 8 minütigen Dunkeladaptationsphase (Teilschritt 3) gemessen, bei Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) war der Maximalwert der b-Wellenamplitude deutlich geringer (156 μV) und dieser wurde erst nach 12 Minuten Dunkeladaptationszeit (Teilschritt 4) erreicht.

Die Latenzzeit der a-Wellenamplitude war bei Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) im Vergleich zu Pferd II (gesund) deutlich verlängert.

Das Kurvenbild von Pferd I (mit Verdacht auf Nachtblindheit) der vorliegenden Studie entsprach der von Witzel (1976) beschriebenen ERG-Kurve eines Fohlens mit angeborener Nachtblindheit (spät auftretende, gering negative ERG-Kurve), allerdings war die Latenzzeit der vorliegenden Messung deutlich kürzer als die von Witzel (1976) angegebene. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Nachtblindheit bei Pferd I zu dem Untersuchungszeitpunkt nicht so stark ausgeprägt war.

Zusammenfassen lässt sich folgendes festhalten: die im Vergleich zur a-Welle deutlich verkleinerte b-Wellenamplitude und die verlängerte Latenzzeit der b-Wellenamplitude entspricht einer „negativen ERG-Kurve“ und ist für die elektroretinographischen Untersuchung bei Pferden mit Nachtblindheit typisch. Aufgrund der Messeinstellungen wurden von dem Gerät RETIport 32 automatisch die Marker für die a- und b-Welle gesetzt (siehe Kapitel 4.6, Abbildung 4.6.2 und 4.6.3) obwohl diese kaum erkennbar ist. Da trotz der bestehenden Erkrankung

5 Diskussion

elektrische Potentiale ableitbar waren, kann davon ausgegangen werden, dass bei diesem Pferd die Nachtblindheit zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht so stark ausgeprägt war.

Dem Besitzer wurde nahe gelegt, das Pferd nicht in der Zucht einzusetzen und auf eine Verschlechterung des Visus zu achten. Für die Dokumentation des weiteren Erkrankungsverlaufes wäre eine Wiederholungsmessung sehr interessant gewesen, aufgrund des langen Anfahrtsweges und mangelndem Interesse des Besitzers nicht durchgeführt.

5.15 Die elektroretinographischen Untersuchungen bei Uveitispatienten

5.15.1 Messergebnisse

Aufgrund der generell schlechten Prognose bei einer unbehandelten ERU und der zeit- und kostenaufwändigen aber dennoch lohnenswerten Therapie, ist es umso wichtiger, den Besitzer rechtzeitig über das Risiko einer Erblindung aufzuklären. Wie Rottensteiner (2000) in ihren Untersuchungen beschrieb, konnte bei der vorliegenden Studie, sowohl bei der Untersuchungsgruppe Uveitis I als auch bei Uveitis II, deutlich geringere Amplitudenhöhen und verlängerte Latenzzeiten bei an Uveitis erkrankten Augen im Vergleich zu gesunden Augen beobachtet werden (siehe Kapitel 4.7 und 4.8). Da bei den gesunden Augen von einer uneingeschränkten Funktion der Netzhaut ausgegangen werden kann, liegt bei den erkrankten Augen eine deutliche Funktionsbeeinträchtigung vor. Die verlängerte Latenzzeit lässt auf eine verzögerte Reaktionsfähigkeit der Netzhaut schließen, was auf die vermutete Schädigung dieser durch die Erkrankung zurückzuführen ist. Da aber auch hier alle erkrankten Augen, unabhängig von ihrem Schweregrad zusammengefasst wurden, kann diese Aussage nur unter Vorbehalt gestellt werden.

Wie Martenet und Niemeyer bereits in ihrer Veröffentlichung (1990) erwähnt haben, muss bei der Interpretation der Messergebnisse von Uveitispatienten bedacht werden, dass eine zum Erkrankungszeitpunkt durchgeführte Therapie mit Steroiden die Ergebnisse verfälschen kann. Steroide können laut den Autoren eine Amplitudenerhöhung der a- und b-Wellen verursachen. Diese Aussage wurde bei der Auswertung der Messergebnisse zwar beachtet, dennoch liegen in der vorliegenden Studie die Messergebnisse der an Uveitis erkrankten Augen, die vor und nach der elektroretinographischen Messung mit der steroidhaltigen Augensalbe Corti Biciron[®] N Augensalbe (0,29 mg Dexamethason-21-isonicotinat, 5,67 mg Oxytetracyclinhydrochlorid/g) behandelt wurden, unter den Messergebnissen der gesunden Augen. Somit

kann die von Rottensteiner (2000) erstellte Vermutung, dass bei solchen Patienten bereits eine erhebliche Netzhautschädigung vorliegt, geäußert werden.

Insgesamt liegen die gemessenen Amplitudenwerte gesunder Augen auch unter den von Brooks (1999) angegebenen Referenzwerten in Tabelle 2, Kapitel 2.15. Da aber zwischen den Messmethoden erhebliche Unterschiede bestanden wird von einem Vergleich der absoluten Werte verschiedener Studien untereinander abgesehen.

5.15.2 Einfluss von Medientrübungen auf das ERG bei Uveitispatienten

In der vorliegenden Arbeit konnten bei den Messungen der Patienten mit Einlagerungen und Trübungen des Glaskörpers, die als Folgeerscheinungen einer equinen rezidivierenden Uveitis auftraten sowohl ERG-Kurven, die denen eines gesunden Auges entsprechen, als auch stark veränderte bis nahezu erloschene Kurven abgeleitet werden. Wie in Kapitel 4.10.5 und 4.10.11 festgestellt wurde, konnte bei beiden Untersuchungsgruppen (Uveitis I und II) bei den erkrankten Augen eine Amplitudenreduktion der a- und b-Welle des ERGs bei zunehmendem Trübungsgrad bzw. Einlagerungen in den Glaskörper beobachtet werden. Bei der Überprüfung, ob diese Amplitudenreduktion von den Veränderungen des Glaskörpers beeinflusst war wurde festgestellt, dass zwar ein Zusammenhang zwischen diesen Parametern bestand, dieser jedoch statistisch nicht signifikant war.

Des Weiteren wurde der Trübungsgrad der Linse in der vorliegenden Untersuchung bei den Untersuchungsgruppen Uveitis I und II dokumentiert und bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt. Bei der Abschätzung des Einflusses der Linsentrübung auf die Messergebnisse konnte bei beiden Untersuchungsgruppen Uveitis I und Uveitis II ein (statistisch nicht signifikanter) Zusammenhang dokumentiert werden (siehe Kapitel 4.10.3 und 4.10.9). Bei zunehmendem Trübungsgrad der Linse verringerten sich die Amplitudenhöhen. Auch zwischen dem Grad der Linsentrübungen und Latenzen der a- und b-Welle konnte ein (statistisch nicht signifikanter) Zusammenhang festgestellt werden (siehe Kapitel 4.10.4 und 4.10.10). Bei zunehmender Linsentrübung konnte auch eine Verlängerung der Latenzzeiten beobachtet werden. Diese Erkenntnis lässt sich aufgrund der fehlenden Signifikanz zwar nicht verallgemeinern, sollte jedoch bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden. Dies entspricht auch der Aussage von Brodie (1987) der behauptete, dass das Zeitintervall bis zum Erreichen der a- bzw. b-Wellenmaxima bei geringerem Lichtstimulus verlängert sein kann. Weiterhin vermutete Brodie (1987), dass eine Katarakt funktionell equivalent zu einer Reduzierung der retinalen Illumination entsprechend einem bestimmten Faktor sei und dass dies zusammen mit dem

5 Diskussion

entsprechenden klinischen Bild als ein prognostisch gutes Zeichen für die noch vorhandenen Netzhautfunktion interpretiert werden könnte.

Wie Galloway (1988) bei seinen Untersuchungen am Menschen beschrieben hat, konnte auch in der vorliegenden Untersuchung nachgewiesen werden, dass entzündungsbedingte Einlagerungen bei noch intakter Netzhaut die Lichtstrahlen nicht soweit absorbieren können, dass dadurch das ERG ausgelöscht war .

Ein Pferd, das in der vorliegenden Arbeit an einem Auge vitrektomiert werden sollte, wies bei der ophthalmologischen Untersuchung vor der Vitrektomie einen stark diffus getrüben Glaskörper mit eingelagerten Entzündungsprodukten auf. Zusätzlich wurde eine partielle Netzhautablösung vermutet. Trotz des veränderten Glaskörpers konnten elektrische Potentiale abgeleitet werden. Insgesamt wurden bei diesem Pferd 3 zeitlich versetzte ERG-Messungen vorgenommen, wobei die ersten 2 Messungen im Abstand von 2 Tagen (nach einer Teilaufklärung des Glaskörpers) vor der Operation und die 3. Messung 2 Tage nach der Operation abgeleitet wurden. Bei der 2. und 3. Messungen konnte eine Zunahme der b-Wellenamplituden festgestellt werden (siehe Kapitel 4.4). Die optischen Medientrübenungen konnten bei diesem Pferd die elektrischen Potentiale zwar deutlich abschwächen, jedoch nicht völlig auslöschen. Die vermutete partielle Netzhautablösung konnte bei der ophthalmologischen und sonographischen Untersuchung nach der Vitrektomie bei aufgeklartem Glaskörper bestätigt werden. Diese war jedoch nur auf ein bestimmtes Netzhautareal beschränkt und von der restlichen Retina konnten noch elektrische Potentiale abgeleitet werden.

5.15.3 Zusammenfassende Betrachtung

Aufgrund der Feststellungen aus Kapitel 5.12.1 und 5.12.2 lässt sich festhalten, dass bei den an Uveitis erkrankten Pferdeaugen mit einer deutlich reduzierten Amplitudenhöhen der a- und b-Wellen von einer stärkeren Schädigung bestimmter Netzhautareale ausgegangen werden kann. Für die Interpretation der ERG Messergebnisse sollten die Medientrübenungen dokumentiert werden und ihr Einfluss (Lichtabschwächung/Streuung) bei der Beurteilung der Netzhautfunktion und bei der Prognosestellung beachtet werden. Die elektroretinographische Untersuchung bietet ein objektives und gutes diagnostisches Hilfsmittel, um das weitere Vorgehen bei Uveitispatienten zu diskutieren.

Zwei der von Martenet und Niemeyer (1990) festgestellten Aussagen über die elektroretinographische Untersuchung beim Menschen konnten in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden:

5 Diskussion

1. Das ERG stellt eine wichtige diagnostische Methode dar, um eine Aussage über die Prognose, vor allem bei Patienten mit trüben optischen Medien zu stellen
2. Die durch die Elektoretinographie gewonnenen Erkenntnisse können hilfreiche Indizien bei der Entscheidung der Therapie (Vitrektomie) liefern und können bei der Dokumentation von therapeutischen Ergebnissen von Nutzen sein

Die dritte von den Autoren geäußerte Behauptung, dass das ERG eine sinnvolle Methode darstellt, um den Schweregrad und die Lokalisation einer Uveitis festzulegen, beziehungsweise dass durch die Elektoretinographie die Art der Uveitiserkrankung bestimmbar ist, konnte in der vorliegenden Untersuchung nur teilweise nachvollzogen werden. Der Schweregrad der Uveitis konnte bei den Pferden, die an Uveitis erkrankt waren, mithilfe der elektoretinographischen Messergebnisse zwar eingeschätzt werden, eine genaue Lokalisation und eine Typenbestimmung der verschiedenen Uveitisformen konnte allerdings nicht nachvollzogen werden. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass sich die Erkrankungsformen der Uveitis des Menschen von denen beim Pferd unterscheiden und in der vorliegenden Studie kein Muster-ERG durchgeführt wurde, sondern nur mit einem einfachen elektoretinographischen Untersuchungsprotokoll gearbeitet wurde.

5.15.3.1 Beurteilung des Einflusses des ERGs durch die Vitrektomie

Im Rahmen der Vitrektomie wurde das Glaskörpermaterial gegen eine sterile Elektrolytlösung ausgetauscht. Mit der Operation konnten vorhandene Entzündungsprodukte und Glaskörpertrübungen entfernt und die Rezidivneigung der Uveitis erheblich verringert werden. Bei der Beurteilung der Ergebnisse der Studie über die Beeinflussung des ERGs durch die Vitrektomie (siehe Kapitel 4.3) ist zu beachten, dass nach dem Eingriff teilweise eine Aufklärung der optischen Medien erreicht wurde, aber dennoch bei manchen Pferden noch operationsbedingte Einlagerungen und Trübungen der optischen Medien, vor allem nach Lösen von Synechien im Bereich der vorderen Augenkammer vorhanden waren. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, erfolgte bei einigen Pferden, die die beschriebenen postoperativen Veränderungen aufwiesen oder einen starken Blepharospasmus zeigten die zweite Messung zeitlich verzögert.

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, waren die Messergebnisse der a-Wellenamplitude (Median und Mittelwert) der Messungen bei 1,3 Hz bei den an Uveitis erkrankten Augen nach der Operation höher als die Messwerte vor der Operation (Tabelle 41). Hingegen lagen die b-Wellenamplituden der an Uveitis erkrankten und vitrektomierten Augen nach der Operation unter den Ergebnissen der Messungen vor der Vitrektomie und obwohl teilweise eine Aufkla-

rung der optischen Medien durch die Operation erreicht werden konnte, trat keine Steigerung der Amplitudenerhöhung der b–Welle auf. Aufgrund der zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführten Messungen und der teilweise noch vorhandenen optischen Medientrüben konnte keine generelle Aussage gestellt werden. Anhand von Wiederholungsmessungen zu einem späteren Zeitpunkt (einige Tage bis Wochen nach dem Eingriff) hätte überprüft werden können, ob eine Erhöhung der b-Wellenamplitude zu einem späteren Zeitpunkt messbar gewesen wäre. Dies war wegen der Entlassung der Patienten ca. 5 Tage nach der Operation nicht durchführbar.

5.16 Die elektroretinographischen Untersuchungen bei Glaukompatienten

5.16.1 Messergebnisse

Wie Rubin et al. (1967b) und Gum (1980) feststellten lag auch in der vorliegenden Arbeit bei an Glaukom erkrankten Augen eine Amplitudenreduktion vor. Des Weiteren war die Latenz der a- und der b–Wellenamplitude bei den erkrankten Augen bei der Untersuchungsgruppe Glaukom II der vorliegenden Arbeit im Vergleich zu den gesunden Augen verlängert (siehe Kapitel 4.9.5). Bei der Untersuchungsgruppe Glaukom I war nur die b–Wellenlatenz verlängert (siehe Kapitel 4.9.1).

Korth (1997) behauptet, dass das normale Einzellichtblitz ERG für die Früherkennung und die Diagnosestellung von einem Glaukom nicht hilfreich sei, da diese Messung vorwiegend die Antwort der äußeren Netzhautabschnitte darstellen würde. In der vorliegenden Untersuchung ging bei den meisten eingelieferten Pferden eine längere Erkrankungsdauer und somit Behandlungszeit voraus. Es sollte bei den untersuchten Pferden vor allem eine Aussage über die vorhandene Funktion der Netzhaut gestellt werden (bei getrüübter Hornhaut/Linse war häufig keine Einsicht auf den Augenhintergrund möglich). Für die Darstellung der Netzhautfunktion bot das Lichtblitz-ERG eine gute und objektive Messmethode.

5.16.2 Einfluss von Medientrübungen auf das ERG bei Glaukompatienten

In der vorliegenden Arbeit wiesen die meisten Pferde, die an einem Glaukom erkrankt waren entzündliche Einlagerungen und Trübungen des Glaskörpers an den erkrankten Augen auf. Brodie (1987) behauptete, dass bei zunehmendem Trübungsgrad der optischen Medien (mature Katarakt und hgrd. Glaskörpertrübungen) eine stärkere Lichtabschwächung stattfinden würde. Wie in Kapitel 4.10.15 und 4.10.19 festgestellt wurde, konnte bei beiden Untersuchungsgruppen (Glaukom I und Glaukom II) bei den erkrankten Augen eine Amplitudenreduktion des ERGs bei zunehmendem Trübungsgrad bzw. Einlagerungen in den Glaskörper beobachtet werden. Zwischen dem Trübungsgrad der Linse und der Amplitudenreduktion des ERGs bei an Glaukom erkrankten Augen bestand ebenfalls ein (nicht signifikanter) Zusammenhang (siehe Kapitel 4.10.14 und 4.10.18). Bei zunehmendem Trübungsgrad verringern sich die Amplitudenhöhen der a- und b-Welle des ERGs.

Des Weiteren wurde der Einfluss der Hornhauttrübungen auf die Amplitudenhöhe der a- und b-Welle untersucht. Bei der Untersuchungsgruppe Glaukom I konnte bei zunehmender Hornhauttrübung ein reduzierender Einfluss auf die Amplitudenhöhe der b-Welle beobachtet werden (siehe Kapitel 4.10.16). Bei der Untersuchungsgruppe Glaukom II konnte ebenfalls ein reduzierender Einfluss der Hornhauttrübung auf die a- als auch auf die b-Wellenamplitude beobachtet werden (siehe Kapitel 4.10.20). Durch die Medientrübung, die den Lichtstimulus abschwächten konnten weniger Rezeptoren der Netzhaut angeregt werden und die gemessenen elektrischen Potentiale waren geringer, als die bei Pferden ohne pathologische Abweichungen am Auge. Eine generell gültige Aussage lies sich aufgrund der fehlenden Signifikanz bei den statistischen Untersuchungen nicht stellen.

5.16.3 Zusammenfassende Betrachtung

In der vorliegenden Arbeit konnte mit der Durchführung eines photopischen ERGs bei Pferdeaugen, die an Glaukom erkrankten waren (unterschiedlichem Intraokulardruck und unterschiedlichem Trübungsgrad der Hornhaut und des Glaskörpers bei schwer einsehbarem Augenhintergrund) eine Übersicht über die Funktion der Netzhaut gewonnen werden.

Wie Korth (1997) bereits erwähnt hat, würde die Verlaufskontrolle von chronisch glaukoma-tösen Augen eine weitere sinnvolle Einsatzmöglichkeit der Elektroretinographie darstellen. Dies hätte jedoch den zeitlichen Rahmen der vorliegenden Untersuchung überschritten. Weitere Studien auf diesem Gebiet wären sinnvoll, da dadurch neben der ophthalmologischen Un-

5 Diskussion

tersuchung, der Messungen der Bulbusgröße und des Augeninnendrucks eine zusätzliche Verlaufskontrolle der Patienten gegeben wäre. Diese Untersuchungen könnten Erkenntnisse liefern, ob die registrierten ERG-Veränderungen bei chronisch an Glaukom erkrankten Augen mit dauerhafter aber geringer Druckerhöhung stärker ausgeprägt sind als bei Patienten, die intermittierende hohe Druckpeaks aufweisen.

5.17 Oszillatorische Potentiale

Bei elektroretinographischen (photopischen) Untersuchungen am Pferd wurde bisher in der Literatur wenig über das Auftreten von Oszillatorischer Potentialen (OPs) berichtet. Komaromy et al. (2003) konnten bei ihren Untersuchungen am Pferd keine OPs messen. Oszillatorische Potentiale traten in der vorliegenden Studie bei den Standardmessungen mit einer Lichtintensität von 0 dB nicht auf. Bei Messungen, die mit einer höheren Lichtintensität (5 dB/10 dB) durchgeführt wurden, konnten vereinzelt OPs beobachtet werden (siehe Kapitel 4.2).

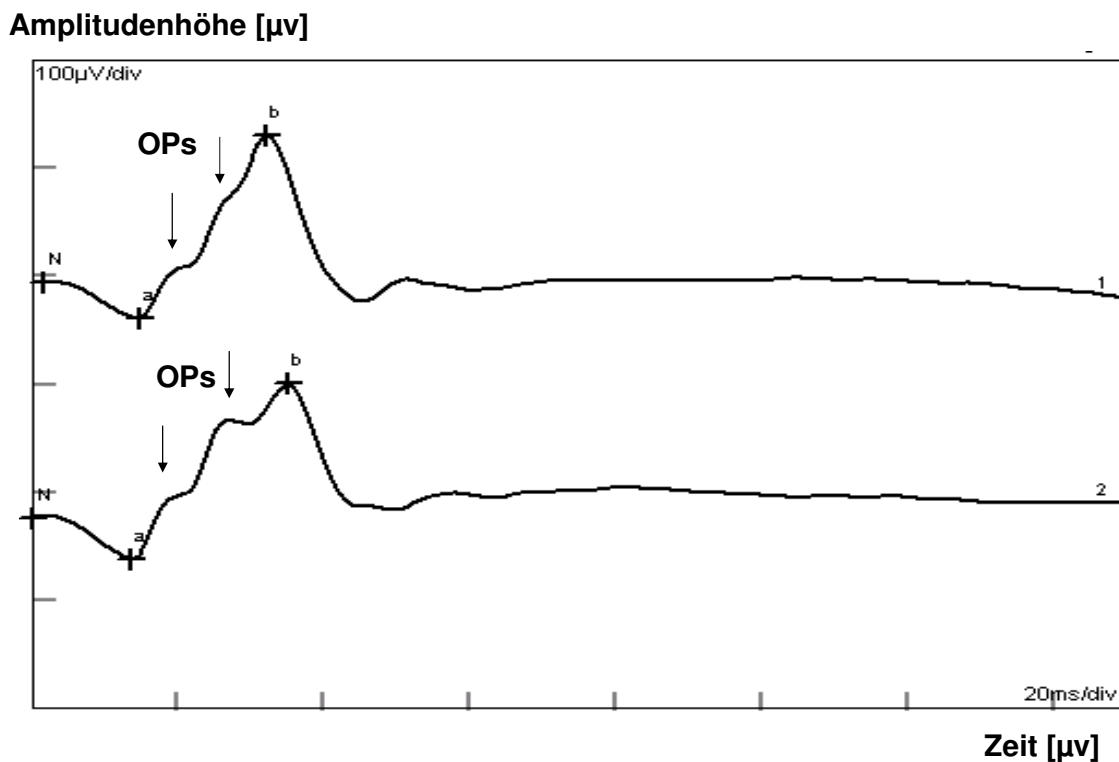


Abbildung 68: ERG- Kurven des gesunden Auges von Pferd I bei Lichtintensitäten von 5 dB (obere Kurve) und 10 dB (untere Kurve), gemessen bei 1,3 Hz

Eine Erklärung für das Fehlen der OPs bei den Standardmessungen könnte verwendete Lichtintensität (0 dB) sein. Dies würde der Aussage von Heynen et al. (1985), Korth (1997) sowie Spiess und Leber-Zurcher (1992) entsprechen, die nur bei höheren Lichtintensitäten und bei Messungen mit einer langen Dunkeladaptationszeit vermehrt Oszillatorische Potentiale ableiten konnten.

5 Diskussion

Brodie (1987) führte das Fehlen von OPs bei seinen Messungen auf die Lichtabsorption durch die getrübbten optischen Medien zurück. Auch Rottensteiner (2000) konnte bei hochgradiger Medientrübung oder schwerwiegender Netzhautschädigung keine Oszillatorischen Potentiale ableiten. In der vorliegenden Studie wiesen die meisten Pferde ebenfalls Opazitäten der optischen Medien auf und deren Einfluss auf die ERG-Kurven wurde bereits in Kapitel 5.15.2 und 5.16.2 diskutiert. In der vorliegenden Studie konnten jedoch auch bei gesunden Augen (ohne optische Medientrübungen) bei den Messungen mit der Standardlichtintensität von 0 dB keine OPs abgeleitet werden. Darher liegt die Vermutung nahe, dass die verwendete Lichtintensität von 0 dB zwar für die Standardmessungen ausreichend, jedoch zu schwach war um damit Oszillatorische Potentiale auszulösen.

Aufgrund der Aussage von Rottensteiner (2000), die das Vorkommen von Oszillatorischen Potentialen zwar als positives Kriterium für den Erhalt der Retina wertete, das Fehlen jedoch nicht unbedingt mit einer schlechten Prognose gleichgestellt hat, wurde auch in der vorliegenden Studie der Interpretation der OPs weniger Bedeutung als den veränderten Amplitudenhöhen und Latenzzeiten zugeteilt.

5.18 Präoperative elektroretinographische Messungen

Da routinemäßig sowohl in der Humanmedizin, als auch in der Kleintierophthalmologie bei Patienten, die zu einer Kataraktoperation oder Vitrektomien anstehen, ein Elektroretinogramm abgeleitet wird, wurden in der vorliegenden Studie die Pferde, bei denen eine Vitrektomie durchgeführt wurde, vor der Operation elektroretinographisch untersucht. Anhand der gewonnenen Messergebnisse konnte eine Einschätzung der Integrität und der Restfunktionsfähigkeit der Netzhaut zum Zeitpunkt vor der Vitrektomie erstellt werden (siehe auch Kapitel 5.15.3.1).

5.19 Weitere Anwendungsgebiete der Elektroretinographie

Beim Pferd wurde die Elektroretinographie bisher von verschiedenen Untersuchern nur einzeln zur Differentialdiagnostik genutzt. Es wurden auch experimentelle Untersuchungen über die Eigenschaften und den Aufbau der Netzhaut am Pferdeauge durchgeführt.

Die Aussage von Komaromy et al. (2002), dass Verletzungen und Krankheiten am Auge, die das Sehvermögen beeinträchtigen, sich im ERG als veränderte elektrophysiologische Potentiale darstellen, konnte in der vorliegenden Untersuchung nachvollzogen werden. Acland (1988) hingegen behauptete, dass bei Tieren, die klinisch als blind eingestuft wurden, ein unverändertes ERG abgeleitet werden kann, wenn die Erkrankungsursache in den weiter proximal gelegenen Anteilen der Sehbahn und nicht in den beiden äußeren Schichten der Netzhaut liegt. Bei einem Pferd, das nach der klinischen Untersuchung als erblindet eingestuft wurde, sollte in der vorliegenden Untersuchung mithilfe einer elektroretinographischen Messung überprüft werden, ob es sich dabei um eine zentrale oder um eine periphere Erkrankung der Sehbahn handelte. Die elektroretinographische Untersuchung ergab Messergebnisse, die im Referenzbereich der Ergebnisse gesunder Augen lagen. Eine Schädigung der Netzhaut, die die Erblindung verursacht haben könnte, wurde somit ausgeschlossen. Bei diesem Pferd lag wahrscheinlich eine Störung der zentralen Sehbahn vor. Somit konnte, wie Acland (1988) behauptete, mithilfe der Elektroretinographie zwischen einer peripheren und zentralen Blindheit unterschieden werden. Acland (1988) behauptete weiter, dass bei erloschenem ERG noch eine Restfunktionsfähigkeit der Netzhaut vorhanden sein könnte, da die sensorische Schwelle der Retina unter der des sensiblen ERGs liegt, wenn die Messungen bei sehr geringer Lichtintensität durchgeführt wird. Da in der vorliegenden Studie bei den meisten Pferden die ERGs nur

5 Diskussion

mit einer Lichtintensität erstellt wurden, die über der sensorischen Schwelle der Netzhaut lag, konnte zu dieser Behauptung mithilfe der vorliegenden Ergebnisse keine wertende Aussage getroffen werden.

6 Zusammenfassung

Ein Ziel dieser Studie war es den klinischen Nutzen, die Möglichkeiten und die Grenzen der ambulanten elektroretinographischen Untersuchung mit dem Gerät RETIport 32 der Firma Acri.Tec am stehenden, sedierten Pferd sowie den optimalen Sitz der Referenzelektrode zu prüfen. Des Weiteren sollten Elektroretinogramme bei an Uveitis und/oder an Glaukom erkrankten Pferden in unterschiedlichen Krankheitsstadien abgeleitet und ausgewertet werden. Ferner sollte untersucht werden, in welchem Krankheitsstadium eine Beeinträchtigung der Netzhautfunktion feststellbar wird, ob eine Aussage über den Schädigungsgrad bzw. die Restfunktion und Integrität der Netzhaut und damit über die Prognose für eine Therapie getroffen werden kann und wie sich die Vitrektomie auf die elektroretinographische Messung auswirkt. Zusätzlich sollte untersucht werden, in welchem Maße die ERG-Messergebnisse durch unterschiedliche Lichtintensitäten und Medientrüben beeinflusst werden können.

Bei 91 Pferde (182 Augen) wurde zunächst eine eingehende ophthalmologischen Untersuchung durchgeführt und im Anschluss daran ein oder mehrere ERGs abgeleitet. Bei 51 Pferden (102 Augen), die mit dem Verdacht auf Uveitis ophthalmologisch untersucht wurden, waren bei 36 Augen Veränderungen im Sinne einer Uveitis zu erkennen. Die gesunden 66 Augen wurden bei der Untersuchung als gesund eingestuft. Bei 17 Pferden (34 Augen), die mit dem Verdacht auf ein Glaukom ophthalmologisch untersucht wurden, waren bei 14 Augen Veränderungen im Sinne eines Glaukoms zu erkennen. Bei den übrigen 20 Augen wurden keine pathologischen Veränderungen festgestellt. Bei 3 Pferden (3 Augen) wurden unter Vollnarkose mehrerer Elektroretinogramme bei zwei gängigen Positionen der Referenzelektrode abgeleitet. Die Einteilung in die 2 Untersuchungsgruppen Uveitis/Glaukom I und Uveitis/Glaukom II erfolgte nach der jeweiligen Messmethode (Positionierung der Referenzelektrode). Bei 8 Pferden (16 Augen), bei denen an einem Auge eine Vitrektomie durchgeführt wurde, konnten sowohl vor als auch nach der Operation Elektroretinogramme abgeleitet werden (siehe Kapitel 4.3). Des Weiteren wurden bei 10 Pferden (7 Pferde mit Uveitis und 3 Pferde mit Glaukom) mehrere Elektroretinogramme bei unterschiedlichen Lichtintensitäten abgeleitet. Bei einem Pferd wurden 3 Wiederholungsmessungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt. Der standardisierte Untersuchungsgang umfasste die Ableitung der Netzhautströme beider Augen nach einer 10 minütigen Helladaptation der Pferde. Pro Auge wurden jeweils 20 Einzelmessungen bei einer Frequenz von 1,3 Hz und von 28 Hz durchgeführt. Bei 2 Pferden wurde zusätzlich noch eine Messung bei Dunkeladaptation durchgeführt.

6 Zusammenfassung

Anhand der Messergebnisse der Augen ohne pathologische Befunde (gesund) wurden Referenzwerte erstellt und mit den Kurven der erkrankten Augen verglichen. Es wurden stärkere Unterschiede bei den Amplitudenhöhen als bei den Latenzzeiten festgestellt. Bei den Messungen mit Sitz der Referenzelektrode ca. 2 cm temporal des lateralen Augenwinkels konnten deutlich höhere Amplitudenwerte erzielt werden, als bei den Messungen mit Sitz der Referenzelektrode im Unterlid. Bei den an Uveitis erkrankten Pferdeaugen konnte bei deutlich reduzierten Amplitudenhöhen und verlängerter Latenz der a- und b-Wellen von einer stärkeren Schädigung bestimmter Netzhautareale ausgegangen werden. Bei den an Glaukom erkrankten Augen konnte im Vergleich zu den gesunden Augen eine Amplitudenreduktion der a- und b-Welle gemessen werden. Bei Sitz der Referenzelektrode temporal des Auges verlängerte sich bei den kranken Augen die Latenz der a- und der b-Welle. Bei Sitz der Referenzelektrode im Unterlid war nur die b-Wellenlatenz der erkrankten Augen verlängert. Bei den an Uveitis erkrankten Pferden, bei denen jeweils vor und nach der Vitrektomie ein Elektroretinogramm abgeleitet wurde, konnten nach der Operation höhere Amplitudenwerte der a-Welle und verminderte Amplitudenwerte der b-Welle gemessen werden. Bei den Messungen mit einer höheren Lichtintensität (5 dB und 10 dB) konnte sowohl bei den gesunden Augen, als auch bei den an Uveitis und bei an Glaukom erkrankten Augen eine Amplitudensteigerung der a- und b-Welle gemessen werden. Bei Augen, die einen zunehmenden Trübungsgrad bzw. Einlagerungen in den Glaskörper und/oder eine getrübe Linse bzw. der Hornhaut aufwiesen, waren die Amplitudenwerte der a- und b-Welle reduziert und es konnte ein statistisch nicht signifikanter, gegensinniger Zusammenhang sowohl bei Uveitis-, als auch bei Glaukompatienten beobachtet werden. Des Weiteren konnte bei den an Glaukom erkrankten Pferdeaugen ein statistisch nicht signifikanter gegensinniger Zusammenhang zwischen Hornhauttrübung und Amplitudenhöhe der a- und b-Welle beobachtet werden.

Mit der elektroretinographischen Untersuchung am stehenden sedierten Pferd kann ein guter Überblick über die Integrität und den Funktionszustand der Netzhaut erstellt werden. Die Elektroretinographie erweitert das Spektrum der diagnostischen Mittel in der Ophthalmologie und ist vor allem für die Einschätzung des Erkrankungsstatus und die Prognosestellung als sinnvolle Ergänzung anzusehen. Das Gerät RETIport 32 der Firma Acri.Tec lässt sich dank seiner kompakten Bauweise und der einfachen Handhabung flexibel einsetzen. Durch die integrierte Lichtquelle und die ausbaufähige Software hat das RETIport 32 gegenüber anderen Modellen einen großen Vorteil.

7 Summary

One aim of the study was to investigate the clinical use of the ambulant electroretinographic examination with the RETIport 32 of the Acri.Tec Company in standing, sedated horses. Electroretinographic evaluations of horses with impaired vision caused by either uveitis or glaucoma were taken and the results compared to normal eyes. It should be evaluated if changes in the ERG-curve could be interpreted according to the stage of the disease and the residual function of the retina. With this information a statement about the therapy and the prognosis was to be made. Furthermore, several influence parameters (vitrectomy, ocular opacities and different light intensities) on the ERG results should be investigated. A detailed ophthalmologic examination was done on 91 horses (182 eyes) of different age, sex and race. The examination of 51 horses (102 eyes) showed pathological findings caused by uveitis in 36 eyes. The remaining 66 eyes showed no pathological findings related to uveitis. Out of 17 horses (34 eyes), suspected with glaucoma, pathological findings could be seen in 14 eyes. Another objective was to determine the ideal placement of the reference electrode. The electroretinographic study with the 3 horses under full anaesthesia showed that positioning the reference electrode approximately 2 cm away from the lateral cantus of the examined eye (method II) resulted in higher ERG amplitudes compared to placement of the electrode in the lower eyelid of the examined eye (method I).

Additionally 8 horses (16 eyes) which have received a unilateral vitrectomy, electroretinographic measurements were done before and after surgery. Furthermore, 10 horses (7 horses with uveitis and 3 horses with glaucoma) underwent repeated electroretinographic examinations with increasing light intensities. In 1 horse, repeated measurements were taken at different time points to evaluate the effect of opacities in the ocular media on the ERG. Finally 2 horses underwent an ERG examination under dark adaptation.

The electroretinographic examination was carried out on both eyes of the horses. A total of 40 single measurements (20 at a frequency of 1,3 Hz and 20 at a frequency of 28 Hz with standard light intensity 0 dB) were performed on each eye. The ERG results of the eyes without pathological findings were used as reference values and compared to ERG results of the eyes with pathological findings related to uveitis of glaucoma. Higher discrepancies were found in the evaluation of the measured amplitudes than in the latencies of the ERG waves.

The elongation of the latencies and the strong reduction of the amplitudes of the a- and b-wave in horses with uveitis indicated a severe retinal damage. The amplitudes of the a- and b-

7 Summary

wave measured in horses with glaucoma were significantly reduced in comparison to eyes without pathological findings and a prolongation of the b-wave latency was measured. However an elongation of the latency of the a-wave was only seen in some ERGs.

In horses with uveitis that underwent vitrectomy in one eye, ERG examination resulted in a decrease of the b-wave amplitude and an increase of the a-wave amplitude compared to the ERG results prior to surgery.

Electroretinographic measurements with higher (5 dB/10 dB) than standard (0 dB) light intensities showed an increase of the a- and b-wave amplitudes in eyes without pathological findings as well as in eyes with clinical signs of uveitis/glaucoma.

In equine eyes with severe opacities and inflammatory inclusions in the vitreous and/or the lens caused by either uveitis or glaucoma, lower ERG amplitudes were measured. An insignificant inverse correlation between opacities and inflammatory inclusions in the vitreous could be observed. Furthermore, an insignificant inverse correlation was found between opacities of the cornea and the amplitudes of the a- and b-wave.

The equipment RETIport 32 of the Acri.Tec Company is compact and lightweight, comes with an integrated light source and is easy and safe to handle. The software of the RETIport 32 offers variations in the program settings and consequently the research flow can be set individually for each electroretinographic measurement. In conclusion, the ambulant electroretinographic examination of horses establishes a good overview of the integrity and function of the retina. Therefore it expands the spectrum of the diagnostic tools in equine ophthalmology, especially with regard to the estimation of the extent of damage on the retina caused by uveitis or glaucoma and predicting the health status of the horses' eyes.

8 Literaturverzeichnis

- Acland, G. M. (1988). "Diagnosis and differentiation of retinal diseases in small animals by electroretinography." Semin Vet Med Surg (Small Anim) **3**(1): 15-27.
- Baar U. und A. Reichenbach (1985). "[Clinical retinography in veterinary medicine. 1. Methodological principles and normal values]." Arch Exp Veterinarmed **39**(2): 234-42.
- Bach, M. und J. Rover (1984). "[Prognostic value of ERG, ultrasound and VEP in vitreous body haemorrhage]." Fortschr. Ophthalmol **81**(3): 274-6.
- Barnett, K. C., S. M. Crispin, et al. (1998). Augenkrankheiten beim Pferd. Hannover, Schlütersche GmbH & Co. KG.
- Brabänder, B. (1989). Elektroretinographische und morphologische Untersuchungen am Auge von gesunden Hunden und von Hunden mit neuronaler Ceroid-Lipofuszinose. München, Ludwig-Maximilians-Universität, Dissertation
- Brigell, M., M. Bach, et al. (2003). "Guidelines for calibration of stimulus and recording parameters used in clinical electrophysiology of vision." Doc Ophthalmol **107**(2): 185-93.
- Brodie, S. E. (1987). "Evaluation of cataractous eyes with opaque media." Int Ophthalmol Clin **27**(3): 153-62.
- Brooks, D. E. (1995). "Histomorphometry of the optic nerve of normal horses and horses with glaucoma." Veterinary and Comparative Ophthalmology **5**(4): 193-210.
- Brooks, D. E. (1997). Equine Glaucoma. Current Therapy in Equine Medicine. N. E. Robinson. Philadelphia, Saunders. **4**: 360-362.
- Brooks, D. E. (1999). Equine ophthalmology. Veterinary Ophthalmology. Gelatt. Philadelphia, WB Saunders: 1053-1116.

8 Literaturverzeichnis

- Brooks, D. E., A. M. Komaromy, et al. (2000). "Immunohistochemistry of the extracellular matrix of the normal equine lamina cribrosa." Vet Ophthalmol **3**(2-3): 127-132.
- Bush, R. A. und P. A. Sieving (1994). "A proximal retinal component in the primate photopic ERG a-wave." Invest Ophthalmol Vis Sci **35**(2): 635-45.
- De Geest, J. P., H. Lauwers, et al. (1990). "The morphology of the equine iridocorneal angle: a light and scanning electron microscopic study." Equine Vet J Suppl(10): 30-5.
- Demant, E., K. Nagahara, et al. (1982). "Effects of changes in systemic blood pressure on the electroretinogram of the cat: evidence for retinal auto regulation." Invest Ophthalmol Vis Sci **23**(5): 683-7.
- Dotd, E. und L. Wadensten (1954). "The use of flicker electroretinography in the human eye; observations on some normal and pathological retinae." Acta Ophthalmol (Copenh) **32**(2): 165-80.
- Doslak, M. J. (1989). "Quantitative analysis of the insulating effect of silicone oil on the electroretinogram." Med Biol Eng Comput **27**(3): 254-9.
- Dwyer, A. und B. C. Gilger (2005). Equine Recurrent Uveitis. Equine Ophthalmology. B. C. Gilger. St. Louis, Elsevier/ Saunders. **1**: 285-328.
- Francois, J. (1953). "[Electroretinography in glaucoma.]." Acta Ophthalmol (Copenh) **31**(3): 205-18.
- Francois, J., L. Wouters, et al. (1980). "Morphometric and electro physiologic study of the photoreceptors in the horse." Ophthalmologica **181**(6): 340-9.
- Fuller, D. G., R. W. Knighton, et al. (1975). "Bright-flash electroretinography for the evaluation of eyes with opaque vitreous." Am J Ophthalmol **80**(2): 214-23.
- Galloway, N. R. (1988). "Electrophysiological testing of eyes with opaque media." Eye **2** (Pt **6**): 615-24.

8 Literaturverzeichnis

- Gelatt, K. N. (1999). Veterinary ophthalmology. Fort Collins, Giddings Studio Publishing.
- Gitter, A. J. und W. C. Stolov (1995). "AAEM minimonograph Nr.16: instrumentation and measurement in electrodiagnostic medicine--Part II." Muscle Nerve **18**(8): 812-24.
- Gjotterberg, M. (1986). "Electrodes for electroretinography. A comparison of four different types." Arch Ophthalmol **104**(4): 569-70.
- Gouras, P. (1970). "Electroretinography: some basic principles." Invest Ophthalmol **9**(8): 557-569.
- Granit, R. (1933). "The components of the retinal action potential in mammals and their relation to the discharge in the optic nerve." J Physiol **77**(3): 207-39.
- Gum, G. G. (1980). "Electrophysiology in veterinary ophthalmology." Vet Clin North Am Small Anim Pract **10**(2): 437-54.
- Gum, G. G., K. N. Gelatt, et al. (1984). "Maturation of the retina of the canine neonate as determined by electroretinography and histology." Am J Vet Res **45**(6): 1166-71.
- Hart, W. M. (1992). Radiometry and photometry. Adler`s Physiology of the Eye. W. M. Hart. St. Louis, Mosby Year Book. **9**: 442-459.
- Harwerth, R. S., M. L. Crawford, et al. (2002). "Visual field defects and neural losses from experimental glaucoma." Prog Retin Eye Res **21**(1): 91-125.
- Heynen, H., L. Wachtmeister, et al. (1985). "Origin of the oscillatory potentials in the primate retina." Vision Res **25**(10): 1365-73.
- Hoffmann, M. L., E. Zrenner, et al. (1978a). "[The effect of the pupil as aperture and field stop on the various components of the human electroretinogram (author's transl)]." Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol **206**(4): 237-45.

8 Literaturverzeichnis

- Hoffmann, M.-L., E. Zrenner, et al. (1978b). "Die Wirkung der Pupille als Apertur- und Bildfeldblende und die verschiedenen Komponenten des menschlichen Elektretinogramms." Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol **206**: 237-245.
- Howard, D. R. und D. C. Sawyer (1975). "Electroretinography of acute hypoxic and increased intraocular pressure status in the dog." Am J Vet Res **36**(1): 81-4.
- Jacobi (1993). "Klinische Elektretinographie: Standardprotokoll und Normwerte." Klin Monatsbl Augenheilkd **202**: 27-42.
- Kainer, R. A. (1993). "Clinical anatomy of the equine head." Vet Clin North Am Equine Pract **9**: 1-23.
- Kohler, T. (1990). Auge. Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie der Haussäugetiere. Moismann, W. und Kohler, T. Berlin, Hamburg, Paul Parey Verlag. **1**: 311-322.
- Koijman, A. C. (1986). "The Homogeneity of the Retinal Illumination is restricted by some ERG Lenses." Invest Ophthalmol **27**: 327-377.
- Komaromy, A. M., S. E. Andrew, et al. (2003). "Flash electroretinography in standing horses using the DTL microfiber electrode." Vet Ophthalmol **6**(1): 27-33.
- Komaromy, A. M., D. E. Brooks, et al. (2002). "Technical issues in electrodiagnostic recording." Vet Ophthalmol **5**(2): 85-91.
- Komaromy, A. M., P. J. Smith, et al. (1998a). "Electroretinography in dogs and cats. Part I. Retinal morphology and physiology." Compend. Contin. Educ. Pract. Vet. **20**(3): 343-350.
- Komaromy, A. M., P. J. Smith, et al. (1998b). "Electroretinography in dogs and cats. Part II. Technique, Interpretation, and Indications." Compend. Contin. Educ. Pract. Vet. **20**(3): 355-364.
- Kommonen, B. und C. Raitta (1987). "Electroretinography in Labrador retrievers given ketamine-xylazine anesthesia." Am J Vet Res **48**(9): 1325-31.

8 Literaturverzeichnis

- Kondo, M. und P. A. Sieving (2001). "Primate photopic sine-wave flicker ERG: vector modelling analysis of component origins using glutamate analogs." Invest Ophthalmol Vis Sci **42**(1): 305-12.
- Kong, J. und P. Gouras (2003). "The effect of body temperature on the murine electroretinogram." Doc Ophthalmol **106**(3): 239-42.
- König, H. E. und H.-G. Liebich (2002). Anatomie der Haussäugetiere. Stuttgart, Schattauer GmbH.
- Korth, M. (1997). "The value of electrophysiological testing in glaucomatous diseases." J Glaucoma **6**(5): 331-43.
- Lariukhina, G. M. und D. L. Baiandin (1998). "[The prognostic significance of the electrophysiological indices of the retina and optic nerve in patients with opacities of the optical media of the eye]." Vestn Oftalmol **114**(5): 45-8.
- Leydhecker, G. (1950). "The electroretinogram in glaucomatous eyes." Br J Ophthalmol **34**(9): 550-4.
- Li, C., M. Cheng, et al. (2001). "Age-related changes in the mouse outer retina." Optom Vis Sci **78**(6): 425-30.
- Marmor, M. F., G. E. Holder, et al. (2004). "Standard for clinical electroretinography (2004 update)." Doc Ophthalmol **108**(2): 107-14.
- Marmor, M. F. und E. Zrenner (1998). "Standard for clinical electroretinography (1999 update). International Society for Clinical Electrophysiology of Vision." Doc Ophthalmol **97**(2): 143-56.
- Martenet, A. C. und G. Niemeyer (1990). "[The value of electroretinography in uveitis]." Ophthalmology **4**(2): 169-72.
- Martin (1981). Ocular anatomy. Textbook of Veterinary Ophthalmology. Gelatt. Philadelphia, Lea& Febiger.

8 Literaturverzeichnis

- Martin, L., R. Kaswan, et al. (1986). "Four cases of traumatic optic nerve blindness in the horse." Equine Vet J **18**(2): 133-7.
- Matz, K., H. Gerhards, et al. (1993). "[Bilateral blindness after injury in a riding horse]." Tierarztl Prax **21**(3): 225-32.
- McLaughlin, S. A., R. D. Whitley, et al. (1992). "Diagnosis and treatment of lens diseases." Vet Clin North Am Equine Pract **8**(3): 575-85.
- Mentzer, A. E., D. M. Eifler, et al. (2005). "Influence of recording electrode type and reference electrode position on the canine electroretinogram." Doc Ophthalmol **111**(2): 95-106.
- Miller, R. F. und J. E. Dowling (1970). "Intracellular responses of the Mueller (glial) cells of mudpuppy retina: their relation to b-wave of the electroretinogram." J Neurophysiol **33**(3): 323-41.
- Miyake, Y. und M. Horiguchi (1998). "Electroretinographic alterations during vitrectomy in human eyes." Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol **236**(1): 13-7.
- Nao, N., F. Maruiwa, et al. (1995). "A comparative study of intraocular irrigating solutions: effects on electroretinography readings during closed vitrectomy in humans." Acta Ophthalmol Scand **73**(6): 521-4.
- Narfstrom, K., B. E. Andersson, et al. (1995). "Clinical electroretinography in the dog with ganzfeld stimulation: a practical method of examining rod and cone function." Doc Ophthalmol **90**(3): 279-90.
- Narfstrom, K., B. Ekesten, et al. (2002). "Guidelines for clinical electroretinography in the dog." Doc Ophthalmol **105**(2): 83-92.
- Nickel, Schummer, et al. (2004). Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 4. Berlin, Hamburg, Parey.

8 Literaturverzeichnis

- Niemeyer, G. (1979). "[Information conserved by electroretinography (author's transl)]." Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol **211**(2): 129-37.
- Niemeyer, G. (1998). Elektretinographie. klinische Neuroophthalmologie. Huber. Stuttgart, Thieme.
- Niemeyer, G. (1999). "[From the symptom to electroretinography diagnosis]." Klin Monatsbl Augenheilkd **214**(5): 328-31.
- Niemeyer, G. (2005). "ERG components of negative polarity from the inner retina and the optic nerve response." Doc Ophthalmol **111**(3): 179-89.
- Proenza, L. M. (1975). Light evoked extracellular potentials of the necturus retina: current source density analysis of the electroretinographic b-wave and the proximal negative response. 5th annual meeting Soc. for Neuroscience, New York City.
- Rebhun, W. C. (1992). "Retinal and optic nerve diseases." Vet Clin North Am Equine Pract **8**(3): 587-608.
- Reitenauer, S. (1994). Zur Elektretinographie beim Pferd. München, Ludwig-Maximilians-Universität. Dissertation
- Robson, J. G. und L. J. Frishman (1996). "Photoreceptor and bipolar cell contributions to the cat electroretinogram: a kinetic model for the early part of the flash response." J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis **13**(3): 613-22.
- Roenneberg (1992). "Diurnal variations in human visual sensitivity determined by incremental treshold." Clin Vis Sci **2**(1): 312-319.
- Rottensteiner, A., E. (2000). Elektretinographie bei der Diagnostik von Visusstörungen bei Pferden. München, Ludwig-Maximilians-Universität. Dissertation
- Rubin, L. F., T. K. Bourns, et al. (1967). "Hemeralopia in dogs: heredity of hemeralopia in Alaskan Malamutes." Am J Vet Res **28**(123): 355-7.

8 Literaturverzeichnis

- Samuelson, D. (1999). Ophthalmic anatomy. Veterinary ophthalmology. Gelatt. Philadelphia, Williams&Wilkins: 31-150.
- Samuelson, D., P. Smith, et al. (1989). "Morphologic features of the aqueous humour drainage pathways in horses." Am J Vet Res **50**(5): 720-7.
- Schwink, K. L. (1992). "Equine uveitis." Vet Clin North Am Equine Pract **8**(3): 557-74.
- Serrato, A., R. Tzekov, et al. (2003). "The lens-coating agent and the electroretinogram." Doc Ophthalmol **106**(3): 225-30.
- Simoens, P., S. Muylle, et al. (1996). "Anatomy of the ocular arteries of the horse." Equine Vet J **28**: 360-367.
- Sims, M. H. (1999). Electrodiagnostic Evaluation of Vision. Veterinary Ophthalmology. K. N. Gelatt. Baltimore, Lippincott Williams&Wilkins. **3**: 483-507.
- Smith, P., D. Samuelson, et al. (1988). "Aqueous drainage paths in the equine eye: scanning electron microscopy of corrosion cast." J Morphol **198**(1): 33-42.
- Smith, P. J., D. A. Samuelson, et al. (1986). "Unconventional aqueous humor outflow of microspheres perfused into the equine eye." Am J Vet Res **47**(11): 2445-53.
- Spiess, B. M. (1994). Elektrophysiologische Untersuchungen des Auges bei Hund und Katze. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- Spiess, B. M. und A. C. Leber-Zurcher (1992). "[Oscillating potentials on the b-wave of the ERG in the dog]." Schweiz Arch Tierheilkd **134**(9): 431-43.
- Straub, W. (1961). "[The electroretinogram. Experimental and clinical observations.]" Buch Augenarzt **36**: 1-200.
- Tuunainen, A., D. F. Kripke, et al. (2001). "Retinal circadian rhythms in humans." Chronobiol Int **18**(6): 957-71.

8 Literaturverzeichnis

- Vaegan, S. L. Graham, et al. (1995). "Flash and pattern electroretinogram changes with optic atrophy and glaucoma." Exp Eye Res **60**(6): 697-706.
- Wagner, A. (1991). Zur Morphologie des Angulus iridocornealis beim Pferd. München, Ludwig-Maximilians-Universität. Dissertation
- Weleber, R. G. (1981). "The effect of age on human cone and rod ganzfeld electroretinograms." Invest Ophthalmol Vis Sci **20**(3): 392-9.
- Werry, H. und H. Gerhards (1992). "[The surgical therapy of equine recurrent uveitis]." Tierarztl Prax **20**(2): 178-86.
- Winterberg, A. (1997). Langzeitergebnisse der Pars-Plana-Vitrektomie bei equiner rezidivierender Uveitis. München, Ludwig-Maximilians-Universität. Dissertation.
- Wissdorf, H., B. Otto, et al. (2002). Sinnesorgane Augapfel und Ohr. Anatomie und Propädeutik des Pferdes. H. Wissdorf, H. Gerhards, B. Huskamp and E. Deegen. Hannover, M.& H. Shaper Alfeld. **2**: 124-153.
- Witzel, D. A., J. H. Johnson, et al. (1976). "Scleral contact lens electrodes for electroretinography in domesticated animals." Am J Vet Res **37**(8): 983-5.
- Witzel, D. A. und R. Rüs (1978). "Congenital stationary night blindness: an animal model." Invest Ophthalmol **17**: 788-795.
- Wollanke, B. (1995). Untersuchungen zur Ätiologie der equinen rezidivierenden Uveitis. München, Ludwig-Maximilians-Universität. Dissertation
- Wouters, L., A. De Moor, et al. (1980). "Rod and cone components in the electroretinogram of the horse." Zbl. Vet. Med. **27**: 330-338.
- Yanase, J. und H. Ogawa (1997). "Effects of halothane and sevoflurane on the electroretinogram of dogs." Am J Vet Res **58**(8): 904-9.

8 Literaturverzeichnis

Zimmerman (1973a). "Electroretionographic changes in normal eyes during administration of prednisolon." Annals of Ophthalmology **5**: 757-765.

Zimmerman (1973b). "ERG in human eyes following oral adrenocorticosteroids." Invest Ophthalmol **12**: 777-779.

9 Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich vor allem Frau Pvd. Dr. B. Wollanke für die Überlassung des interessanten Themas, ihren zahlreichen Anregungen und ihrem großen Interesse an meiner Arbeit danken.

Herzlichen Dank allen Mitarbeitern der Pferdeabteilung der Chirurgischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München für ihre Unterstützung bei den Untersuchungen.

All meinen Freunden bin ich sehr dankbar für das Durchsehen der Arbeit, ihrer Hilfestellung und ihrer konstruktive Kritik.

Mein besonderer Dank gilt Lars Mentze für seine Hilfe bei der Bewältigung aller technischen Schwierigkeiten.

Ich möchte mich auch bei Herrn Leschhorn für seine Unterstützung bei der Formatierung bedanken.

Nicht zuletzt ein herzliches Dankeschön an meine Familie und meine Freunde für ihr Verständnis während der letzten Monate.

Besonders meinem Bruder Matthias bin ich für seine Unterstützung und Motivation sehr dankbar.

10. Anhang

10.1. Patientenbogen

Patientendaten:

Behandelnder Arzt:		Aufnahmedatum:	
Name des Besitzers:		Geschlecht:	
Name des Pferdes:		Alter:	
Rasse:		Kunden-Nr.:	

Allgemeinuntersuchung:

Haltung:		KFZ:	
Verhalten:		Puls:	
EZ:		Schleimhäute:	
PZ:		Atmung:	
Husten:		Temp:	
Lnn:		Allg.zustand:	
NA:			

Vorbericht:

Diagnose:

Therapie:

10 Anhang

	<u>oculus sinister</u>	<u>oculus dexter</u>
Augenumgebung/Lider		
Konjunktiva		
Kornea		
Vordere Augenkammer		
Iris		
Pupillenreaktion		
Hintere Augenkammer		
Glaskörpertrübung		

10 Anhang

Glaskörpereinlagerungen		
Augenhintergrund		
Bulbusgröße		
Besonderheiten		
Augeninnendruck		