

# Die Akkommodationsflexibilität Ein sinnvoller Funktionstest?

Veröffentlichung zum Vortrag anlässlich des 65. WVAO Jahreskongresses in Koblenz

In der Regel stehen uns Optometristen nicht mehr als 60 Minuten für eine erste Anamnese zur Verfügung um die Fähigkeiten und Defizite des Sehsystems unserer Klienten zu analysieren. Diese Veröffentlichung beschäftigt sich damit, ob die Akkommodationsflexibilität zu den Funktionstesten zählt, welche auf jeden Fall in dieser Zeit mit durchgeführt werden sollten.

Dafür wird die Funktionsweise der Akkommodation, die unterschiedlichen Messverfahren zur Akkommodationsanalyse, Akkommodationsdefizite und der Einfluss der Akkommodationsflexibilität auf diese Defizite angeschaut.

Da nur mit der Akkommodationsflexibilität die Anfangsproblematiken der Akkommodation in Form der Akkommodationsermüdung (infacility) und mangelnder Ausdauer (ill sustained accommodation) eindeutig identifiziert werden können, ist diese Fragestellung mit Ja zu beantworten.



Abb. 1: Monokulare Messung der Akkommodationsflexibilität mit dem +/-2dpt-Flipper. Foto: S. Lohrengel.

## 1. Wie funktioniert die Akkommodation überhaupt?

Die Ausführung der Akkommodation über Augenlinse und Ziliarkörper etc. ist schon Unterrichtsstoff der Berufsschulen, doch die Reflexbahnen in allen Einzelkomponenten, welche zur NahaEinstellung führen sind immer noch nicht vollständig geklärt [1]. Bewusst und klar ist uns das Nah-Trio, das Zusammenspiel von Akkommodation, Vergenz und Pupillengröße.



Abb. 2: Das Nahtrio.

Doch wer ist der »Chef« im Haus? Welche Reflexe haben Vorrang? Um das zu klären wird noch einiges an Forschung notwendig sein. Klar ist, dass die Augenbewegungen und damit die Vergenzen durch den 3., 4. und 6. Hirnnerven innerviert werden, während die Akkommodation und Pupillenveränderung vom vegetativen Nervensystem und somit vom Sympathikus und Parasympathikus abhängen. Bekanntermaßen ist das vegetative Nervensystem nur teilweise bewusst initizierbar, viele Funktionen laufen unbewusst ab und sind emotionalen und hormonel-

len Schwankungen unterworfen. Grundlegend ist das parasymphatische Nervensystem unser System zum Wiederaufbau und zur Regeneration. Es tut alles, was wir benötigen, um wieder zu Kräften zu kommen und uns das Leben zu vereinfachen. Im Nahbereich gehört die Verengung der Pupille dazu, was für uns durch die entstehende Schärfentiefe eine deutliche Vereinfachung beim Lesen darstellt.

Im Gegensatz dazu steuert das sympathische Nervensystem alle Körperprozesse, welche mit körperlicher Anstrengung verbunden sind. Es mobilisiert Energie und ist aktivitätssteigernd, was auf das Auge bezogen zu einer Erweiterung der Pupille führt.

## Pupillengröße im Verhältnis zur Akkommodation

Matjaž Mihelčič konnte zu diesem Thema in seiner Doktorarbeit 2013 [2] erklärende Messungen durchführen. Zuerst bestätigte er die bekannte Theorie, dass die Pupillengröße mit Beginn der Naharbeit und damit Akkommodation kleiner wird und langsamer reagiert als die Refraktionsänderung durch die Akkommodation. Höchst spannend ist dann das Ergebnis, wenn zu der normalen



Silke Lohrengel,  
Dipl. Ing. (FH)  
Augenoptik, M.Sc. Vision  
Science and Business  
(Optometry)

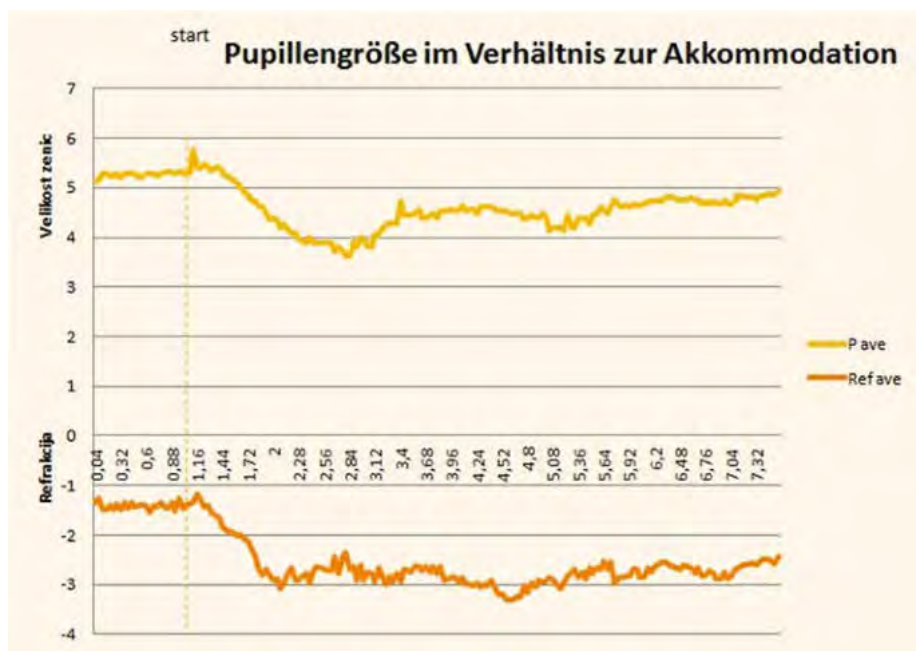


Abb 3: Die Pupillengröße im Verhältnis zur Akkommodation [2].

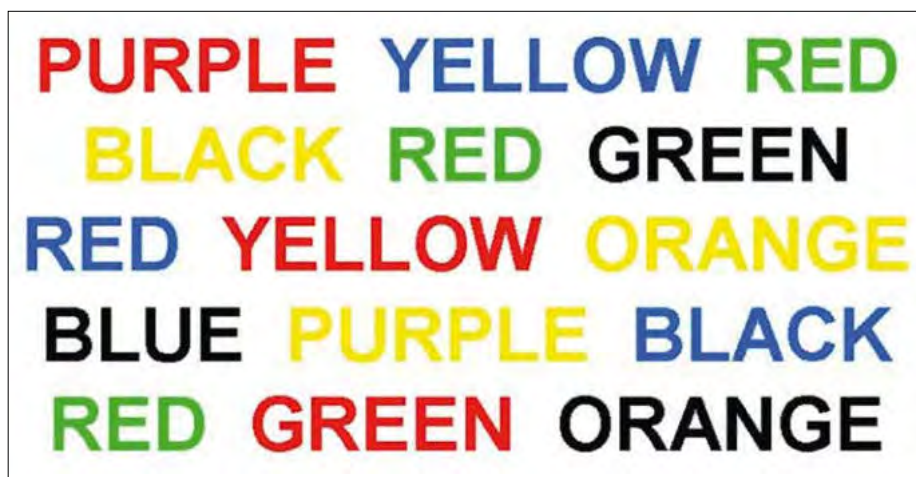


Abb. 4: Stroop Test.

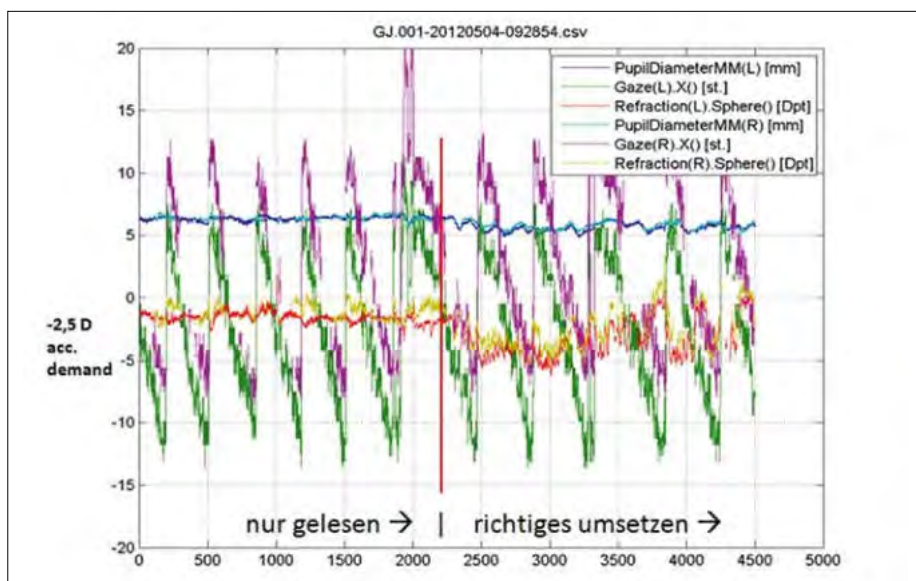


Abb. 5: Veränderung der Refraktion sowie der Pupillengröße bei Hinzunahme des Denkens statt nur zu lesen [2].

Naharbeit eine »Denkaufgabe« in Form des Strooptestes (Abb. 4) integriert wird. Zur Erinnerung: Beim Strooptest werden Farbnamen gelesen, welche nicht mit der passenden Farbe dargestellt werden, sondern mit einer »falschen« Farbe. Die normale Lesearbeit erfordert nur den normalen Nahprozess, während das Umsetzen der Farben und somit das Benennen der dargestellten Farbe schwieriger wird und einen echten Denkvorgang erfordert. Abbildung 5 zeigt wie durch diesen Denkvorgang sich die Refraktion genau wie die Pupillengröße verändert.

Ein schöner eindrücklicher Test, der belegt, dass die Akkommodation und Pupillengröße abhängig sind von inneren Vorgängen und nicht allein von der Entfernung auf die man sich in der Nähe einstellt. Anders herum betrachtet könnte man auch sagen: wir wissen nicht welche Auswirkung ein Ungleichgewicht des sympathischen und parasymphatischen Nervensystems auf unsere Sehprozesse hat oder: es wundert nicht, dass in der Schule überforderte Kinder oder am Arbeitsplatz überlastete Erwachsene Sehproblematiken erhalten, die auch akkommodativer Natur sein können. Eine dauerhafte Überakkommodation kann sicher wie in asiatischen Ländern in Ganztagschulen zur Myopieentwicklung führen. Eine Sehhygiene, wie sie von Funktionaloptometristen geschult wird, erscheint im höchstem Maße sinnvoll.

Wird das Sehsystem überlastet, so sind die **subjektiven Symptome** als asthenopische Beschwerden bei akkommodativen Defiziten nicht von denen mit vergenzabhängigen Defiziten zu unterscheiden.

Dies sind:

- Verschwommenes Sehen in Nähe und/oder Ferne
- Zeitweiliges Doppelsehen
- Kopfschmerzen
- Verringerter Verständnis des Gelesenen
- Tränen der Augen
- Geringer Lese-Umfang
- Die Naharbeit ist sehr ermüdend (Konzentrationsverlust)

Um unterstützend eingreifen zu können, es ist wichtig, die Arten der Akkommodation zu kennen.

**Arten der Akkommodation**

Der für uns normalste und auch größte Anreiz für die Akkommodation ist die Unschärfe zu der auch chromatische sowie sphärische Aberrationen sowie Helligkeit und Kontrast gehören. Subjektive Anreize kommen durch das Bewusstsein von Nähe und unterschiedlichen Entfernungen (Proximale oder psychische Akkommodation) sowie die willentliche Akkommodation. Der akkommodative Anteil, welcher das jeweilige Gleichgewicht von sympathischem und parasympathischem Nervensystem darstellt, den sogenannten Ruhezustand, ist die tonische Akkommodation. Sie ist auch als Nachtmyopie feststellbar und verschiebt sich bei langanhaltender Nah- oder Fernarbeit (akkommodative Hysterese). Der letzte Anteil der Akkommodation ist der konvergenzabhängige Anteil, welcher klar anzeigt, wie Konvergenz und Akkommodation miteinander arbeiten.

**Das grundlegende klinische Modell (Abb. 6 [2])**

Durch eine neuro-optische Unschärfe wird der Ablauf der Akkommodation in Gang gesetzt. Zuerst antwortet die phasische Akkommodation. Diese schwingt relativ niederfrequent mit +/- 0.3 dpt und benötigt nach Schor 370 +/- 80 ms von der Initiierung bis zum Beginn der Antwort (Latenzzeit) unabhängig von der Größe der notwendigen Dioptrieänderung. Die Akkommodationsreaktion selbst benötigt für 63% der Akkommodation 250ms. Der Rest der Akkommodation läuft exponentiell zur Dioptrieänderung. Durchschnittlich werden 5 Dioptrien je Sekunde verändert, Maximalwerte sind ca. 15 Dpt/sec. Unterschiedlich ist auch die Geschwindigkeit von Ferne zu Nähe oder umgekehrt. Die Konzentration von der Ferne auf die Nähe ist mit 0.82sec schneller als von der Nähe in die Ferne zu schauen, was laut Heran&Winn 1.03sec. dauert (Abb. 7 [4]).

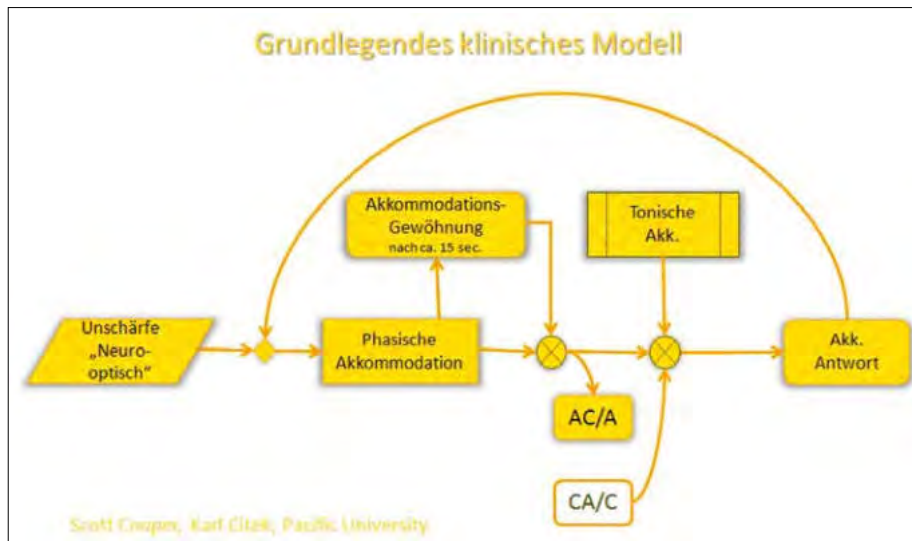


Abb. 6: Funktionsweise der Akkommodation – klinisches Modell (3).

Phasischer Teil der Akkommodation	
Grobe Frequenzen (low frequency)	Dauerndes Schwingen +/-0.3 dpt
Latenzzeit = Zeit von Initiierung bis zum Beginn der Antwort (unabhängig von Größe der Dioptrieänderung)	370 +/- 80ms (Schor)
Akkommodationsreaktion	250ms (63% der Akk) Der Rest exponentiell zur dpt-Änderung
F – N (positive Akkommodation)	0.82sec (parasympathisch)
N – F (negative Akkommodation)	1.03sec (Heron & Winn)
Durchschnittliche Änderung	5dpt/sec
Maximum	15dpt/sec

Abb. 7: Der phasische Teil der Akkommodation [4].

Ist dieser phasische reaktive Teil der Akkommodation nun angesprochen und länger als 15sec aktiv, schaltet sich die Akkommodationsgewöhnung sowie die tonische Akkommodation und der konvergenzabhängige Anteil hinzu. Reicht das Gesamtergebnis als Akkommodationsantwort noch nicht aus, läuft der gesamte Prozess wieder von vorne ab

Wenn es nun diese unterschiedlichen Arten und Funktionsweisen der Akkommodation gibt, wie lassen sie sich messen?

**Messmöglichkeiten der Akkommodation**

Die phasische Akkommodation und damit die Flexibilität der Akkommodation ist monokular sowie binokular mit einem Flipper und einem definierten

Testblatt messbar, während der push-up oder pull away Test die Akkommodationsamplitude und somit das Gesamtergebnis der Akkommodation darstellen kann. Ob die Duansche Strichfigur oder einzelne Sehzeichen mit einem Visus von 0.6 zur Nahabstandsmessung genutzt werden oder auch Minusgläser bleibt dem Untersuchenden überlassen (Abb. 8). Der Abstand, in dem der Klient anfängt unscharf zu sehen, sollte mehrfach gemessen werden! Reine Akkommodationsmessungen ohne Vergenzanteile werden monokular durchgeführt!!

Die Akkommodations-Genauigkeit wird entweder durch die dynamische Skiaskopie (Abb. 9) oder mit dem Kreuzzylinder (Abb.10) bestimmt. Der AC/A-Quotient sowie die Unschärfemessungen während der relativen Vergenz-



Abb. 8: Mögliche monokulare Messung der Akkommodationsamplitude – »Push up« oder »Pull away«. Foto: S. Lohrengel.



Abb. 9: MEM – Skiaskopie Bild: S. Lohrengel.

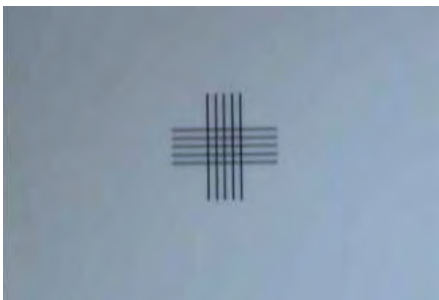


Abb. 10: Testzeichen für die Kreuzzylinderbestimmung. Bild: S. Lohrengel.

messungen sowie die positive und negative relative Akkommodation runden das Messprogramm ab.

Da das Augenmerk dieser Veröffentlichung auf der Akkommodationsflexibilität liegt, werden die anderen Messverfahren nicht beschrieben (Hinweise).

### Messung der Akkommodationsflexibilität

Als notwendiges Zubehör wird ein +/- 2dpt Flipper, eine Augenklappe sowie ein entsprechendes Testblatt mit Buchstabengruppen benötigt sowie eine Uhr.

Immer dann, wenn der Klient durch eine Seite des Flippers (z. B. +2.0 dpt) die Buchstaben oder Zahlen scharf sieht,

Flipper-Stärke	Testgröße (Visusstufe)	Alter	Monokular Normwert c/min	Binokular Mittelwert c/min	Kritischer Grenzwert c/min
	20/60 (0.33)	Erwachsene	16.7	13.2	< 10
+/- 2dpt	0.6	Erwachsene	11.6 +/-5	7.7 +/-5	?
	0.33	Kinder (8-12 Jahre)	7 +/-2.5	5 +/-2.5	?
+/-1dpt	0.33	Erwachsene	17	-	?

Abb. 11: Zu erwartende Ergebnisse der Akkommodationsflexibilität [3].



Abb. 12 Rock Cards von Bernell.

soll er diese laut vorlesen. Dann wird der Flipper in die andere Richtung gedreht, so dass nun durch die Gläser mit -2 dpt gesehen wird. Auch hier soll er nachdem er scharf sieht laut vorlesen. Günstig ist es, wenn der Untersuchende die gleiche Vorlage hat, um Fehler, übersprungene Zeilen oder einfach auch nur das Resultat nach 1 Minute (Hälfte der Zeit) und 2 Minuten zu markieren. So werden beide Augen getestet.

Ich persönlich nutze das Testblatt der Pacific University in Oregon (USA). Dort ist eine Testreihe verfügbar, an der geprüft wird, ob der Klient in der Lage ist, diesen Test auszuführen und ihn auch verstanden hat. Danach geht die Messung richtig los.

Um eine klare Differenzierung zur Vergenz zu erhalten ist es notwendig den Test monokular auszuführen!! Die zu erwartenden Ergebnisse sind in Abb. 11 ersichtlich.

Als weiteres Testmotiv stehen die **Rock-Cards von Bernell (Abb. 12)** mit unterschiedlichen Visusstufen und Motiven zur Verfügung. Laut Hoffmann und Rouse sollten mehr als 12 Umdrehungen je Minute geschafft werden bei einem Visus von 0.6 und keine Diffe-

Alter in Jahren	Normwert c/min	Standardabweichung c/min
6	5.5	+/-2.5
7	6.5	+/-2
8-12	7	+/-2.5
13-30	11	+/-5

Abb. 13 Monokular zu erwartende Werte mit den Rock Cards [5].

Alter in Jahren	Normwert c/min	Standardabweichung c/min
6	3	+/-2.5
7	3.5	+/-2.5
8-12	5	+/-2.5
13-30	8	+/-5
30-40	9	+/-5

Abb. 14: Binokular zu erwartende Werte mit den Rock Cards [5].

renz rechts und links vorliegen. Die monokularen sowie binokularen Sollergebnisse von Scheimann/Wick sind in Abb. 13 und Abb. 14 ersichtlich.

### Welche Flipperstärke ist die richtige?

Oder: was tun, wenn der Klient +/- 2 dpt nicht scharf stellen kann? Reicht die Amplitude nicht aus, um den Standardwert von +/- 2 dpt scharf zu stellen, so gibt es von Yothers et al [6] eine Untersuchung mit amplitudenabhängigen Werten (Abb. 15). Gerade bei Erwachsenen ist es notwendig auf adäquate Flipper umzusteigen, um die Messung überhaupt durchführen zu können. Standardisierte, normierte Werte gibt es allerdings nur für den +/- 2 dpt Flipper.

Amplitude in dpt (Beispiele)	Nahentfernung (cm)	Testentfernung (cm)	Flipperstärke
		= 45% der Amplitude	= 30% der Amplitude
20	5.0	11.0	+/- 3 dpt
10	10	22.0	+/-1.5 dpt
6	16.5	37.0	+/-1dpt
4.5	22	49.5	+/-0.75dpt

Abb. 15: Altersentsprechende Amplitudenberechnung nach Yothers et al [6].

Bei welchen Akkommodationsanomalien spielt die Akkommodationsflexibilität nun eine entscheidende Rolle?

Folgende Akkommodationsanomalien sind bekannt und werden differenziert:

- Akkommodationsermüdung (Infacility)
- Pseudo-Konvergenzinsuffizienz
- Mangelnde Akkommodations-Ausdauer (ill-sustained accommodation)
- Akkommodationsschwäche
- Akkommodationslähmung
- Überakkommodation (Exzess)
- Akkommodationskrampf

Bei den beiden weniger starken Akkommodations-Störungen, der Akkommodation-Ermüdung sowie der mangelnden Akkommodations-Ausdauer ist ein Defizit in der Flexibilität ausschlaggebend für das Feststellen des jeweiligen Defizits.

So ist die schwächste Akkommodations-Störung die **Akkommodations-Ermüdung**.

Allein tritt sie selten auf, ist aber bei anderen Problematiken mit beteiligt. So ist die Zeitspanne zwischen dem Stimulus und der Akkommodationsantwort länger als die Norm. Die Akkommodationsantwort kann statt 0.3 sec bis zu 0.7sec dauern, was eine eingeschränkte Flexibilität zur Folge hat und auch **nur** durch die Messung der Akkommodationsflexibilität aufgedeckt wird! Es besteht kein Problem mit der anhaltenden Akkommodation, welche mit dem Push-Up-Test gemessen werden könnte. Häufig anzutreffen ist die Akkommodationsermüdung bei Menschen, welche sehr lange lesen oder in der Nähe ohne Abwechslung arbeiten.

Typisch ist hier auch, dass beim Blickwechsel von der Nähe in die Ferne oder umgekehrt zuerst verschwommen gesehen wird.

Korrigierende Maßnahmen: Die sinnvollste Abhilfe stellt ein Flexibilitätstraining dar, da leichte Pluslinsen keine echte Erleichterung schaffen.

**Mangelnde Akkommodations-Ausdauer (ill sustained accommodation)**

Hier wird eine normale Amplitude gemessen, während die positive und die negative relative Akkommodation reduziert sind. Bei mehrfacher Nahpunkt-messung (monokular) setzt dann eine Ermüdung ein. Bei einmaliger Messung ist nichts zu bemerken! Die Flexibilität ist ebenfalls zum Ende hin reduziert und die Person bemerkt vor allem zum Tagesende größere Müdigkeit. Die Reduktion der Flexibilität ist hier für die

Diagnose	Flexibilität
Akkommodations-Ermüdung	Konstant langsame Flexibilität, längere Reaktionszeit (0.7sec statt 0.3 sec)
Pseudo Konvergenz-Insuffizienz	-
Mangelnde Akk. Ausdauer	Verlangsamt sich während der 2 Min Testzeit
Akkommodations-Schwäche	-
Akkommodations-Lähmung	Nicht ausschlaggebend, wäre aber deutlich reduziert
Über-akkommodation	Nicht ausschlaggebend, hätte aber schlechtere Reaktion in Plusrichtung
Akkommodations-Krampf	Nicht ausschlaggebend, wäre aber deutlich reduziert in Plusrichtung

Abb. 16: Die Akkommodationsflexibilität bei den unterschiedlichen Akkommodations-Defiziten.

Anamnese neben der Reduktion der Amplitude ausschlaggebend (Abb. 16).

Abhilfe: Ein Training der Amplitude sowie Flexibilität ist ideal.

Bei allen anderen Akkommodationsdefiziten ist die Akkommodationsflexibilität nicht mehr das identifizierende Merkmal, auch wenn sie mit eingeschränkt sein sollte.

Bei der **falschen Konvergenzinsuffizienz** liegt eine Akkommodationsstörung vor, die leicht als Konvergenzinsuffizienz benannt wird, aber keine ist, da das Hauptproblem in einem geringen AC/A-Stimulus bei relativ normaler AC/A Antwort zu suchen ist. Die Person hat asthenopische Beschwerden, Schwierigkeiten in der Nähe das scharfe Sehen aufrecht zu erhalten oder auch zu fusionieren. Weiterhin ist häufig mehr Plus zu finden.

Korrigierende Maßnahmen: Eigentlich hat diese Person alles, was sie zum guten Sehen benötigt, aber es fehlt noch der Schlüssel zum klaren Verständnis dafür. Hilfestellungen für die Akkommodationsgenauigkeit sowie die Ausdauer sind sinnvoll. Manchmal hilft ein wenig Plus für die Nähe, um die Akkommodation zu erleichtern. Das Normalisieren der Vergenzen gehört dazu.

Bei der **Akkommodations-Schwäche (Insuffizienz)** ist die Akkommodations-Amplitude das maßgebliche Kriterium.

Sie ist ca. 5 dpt unter der altergemäß nach Hofstetter zu erwartenden Ampli-

Diagnose	Amplitude
Akkommodations-Ermüdung	-, aber reduzierte Amplitude könnte zu Insuffizienz führen
Pseudo Konvergenz-Insuffizienz	-, könnte aber reduziert sein
Mangelnde Akk. Ausdauer	Im normalen Rahmen, aber <altergemäß. Wiederholte Messung zeigt Ermüdung
Akkommodations-Schwäche	Altergemäß reduziert (>5dpt geringer)
Akkommodations-Lähmung	-
Über-akkommodation	-
Akkommodations-Krampf	Extrem – bis zu 25dpt

Abb. 17: Die Akkommodationsamplitude bei den unterschiedlichen Akkommodations-Defiziten.

Diagnose	MEM
Akkommodations Ermüdung	-
Pseudo Konvergenz-Insuffizienz	Höhere Unterakkommodation
Mangelnde Akk. Ausdauer	Vielleicht höhere Unterakkommodation
Akkommodations-Schwäche	Höhere Unterakkommodation
Akkommodations-Lähmung	Große Unterakkommodation (keine Nahreaktion)
Überakkommodation	Überakkommodation monokular (keine Unterakkommodation!)
Akkommodations Krampf	Monokular Überakkommodation (keine Unterakkommodation)

Abb. 18: Die MEM-Skiaskopie bei den unterschiedlichen Akkommodations-Defiziten.

tude. In der Nähe kann nur verschwommen gesehen werden oder es existieren Probleme bei langanhaltender Naharbeit. In der Ferne wiederum wird nach langer Naharbeit ebenfalls verschwommen gesehen. Es fehlt die Flexibilität sowie die Amplitude. Kopfschmerzen sind häufig das Resultat. Die Akkommodations-Insuffizienz tritt häufig nach Traumata oder bei bestimmten Medikamenten auf sowie bei Amblyopien.

Als korrigierende Maßnahme sind Plusgläser in der Nähe ideal. Ansonsten sollte die Amplitude trainiert werden mit unterstützendem Training der Flexibilität.

Bei der **Akkommodations-Lähmung**, der **Überakkommodation** sowie dem **Akkommodationskrampf** ist die Akkommodationsflexibilität ebenfalls nicht ausschlaggebend, aber durchaus betroffen. So ist die Reaktion in Plusrichtung bei der Überakkommodation sowie dem Akkommodationskrampf deutlich reduziert.

Wie sich die jeweiligen Messmethoden bei den unterschiedlichen Akkommodations-Einschränkungen verhalten ist in Abbildung 16 bis 19 zu sehen.

Neben den beiden Fällen, in denen die Akkommodationsflexibilität diagnostisch notwendig ist, gibt sie auch bei den anderen Akkommodations-De-

Diagnose	Kreuzzylinder
Akkommodations Ermüdung	-
Pseudo Konvergenz-Insuffizienz	Mehr Plus als normal
Mangelnde Akk. Ausdauer	Vielleicht mehr Plus als normal
Akkommodations-Schwäche	Mehr Plus als normal
Akkommodations-Lähmung	Viel mehr Plus als normal
Überakkommodation	-Weniger Plus als normal monokular, könnte ins Minusgehen
Akkommodations-Krampf	Monokular Minus

Abb. 19: Die Kreuzzylindermessung bei den unterschiedlichen Akkommodations-Defiziten



Abb. 20: Das Milchschaaf Paula (Photographie Philipp Imm).

fiziten klare Hinweise auf die Art des Defizits. Wichtig ist, die Messung tatsächlich auch monokular durchzuführen.

Weiterhin ist das **Training** der Akkommodationsflexibilität wichtig für die Verbesserung der Akkommodationsfähigkeiten und lässt sich als rot-grün-Variante mit rot-grün Brille sehr gut auch bei Amblyopien einsetzen, um wieder richtig »schaf« (Abb. 20) zu sehen. ■

Literaturhinweise:

1. TREPEL, Neuroanatomie 2008
2. Doktorarbeit Matjaž Mihelčič
3. COOPER, S., CITEK, C.: Core concepts in binocular vision 2007
4. KOCH, C.: Funktional Optometrie
5. SCHEIMANN, M., WICK, B.: Clinical Management of Binocular Vision
6. YOTHERS et al. (Clinical Testing of accommodative facility: development of an amplitude-scaled test. J Am Optom Assoc 2002