

Instabilität der Fixation

*Burkhard Fischer, Freiburger Blicklabor, Hans-Sachs-Gasse 6, 79098 Freiburg
burkhard.fischer@blicklabor.de*

Vorwort

In der Vorbereitung eines Beitrags zum Thema „Fixation“, anlässlich eines Kongress im Jahr 2008 in der Schweiz, entstand dieser Aufsatz in deutscher Sprache. Nur ein kleiner Teil der Daten wurde schon früher publiziert, der größte Teil und die Beziehungen der Daten untereinander sind neu. Für die Beurteilung der Sehleistungen im Einzelnen wird die Fähigkeit, die Augen erfolgreich zu fixieren, wenn es nötig ist und die Fixation zu lösen, wenn der nächste Blicksprung gemacht werden soll, immer (noch) vernachlässigt. Nicht nur die Erforschung der Bewegungen der Augen sondern auch Augenheilkunde und Optometrie haben das Thema lange nicht wirklich angegangen. Das hat sich zwar jetzt in der Wissenschaft geändert, aber nicht in der praktischen Anwendung. Deswegen wird dieser Artikel (in seiner jetzigen Form)für den interessierten Augenarzt, Optiker oder Optometristen ins Internet gestellt. Die Literatur zum Thema ist bei weitem nicht vollständig zitiert. Nur die für die Aussagen unbedingt notwendigen Quellen sind genannt und am Ende aufgelistet. Sachliche Kommentare und Hinweise an die obige Email- Adresse sind jederzeit willkommen.

Inhalt

Vorwort	1
Zusammenfassung.....	1
Einleitung	2
Methodik	2
Ergebnisse	3
Binokulare Instabilität (Langsame Drifts)	3
Augendominanz der binokularen Instabilität.....	6
Einfache Instabilität (Unwillkürliche Sakkaden).....	7
Monokulares Training der Fixation	8
Mangelnde Reflexkontrolle (Express Sakkaden).....	9
Training der Reflexkontrolle.....	10
Der optomotorische Zyklus.....	12
Diskussion.....	13
Literatur.....	15

Zusammenfassung

Während die Bewegungen der Augen als notwendige Voraussetzung für den natürlichen Sehprozess immer mehr – auch in der Diagnostik - beachtet werden, ist die Stabilität der Fixation noch wenig etabliert. Dieser Artikel beschäftigt sich mit 3 verschiedenen Arten der Instabilität, die alle nur durch Messung und Analyse der Augenbewegungen erkannt werden können: (i) die binokulare Instabilität , (ii) unwillkürliche Sakkaden während einer Phase der Fixation, (iii) Dominanz des optomotorischen Reflexes (Express Sakkaden bei der Generierung von zielgerichteten Sakkaden in Gegenwart eines Fixationspunktes). Die diagnostischen Daten von Kontrollpersonen und Kindern mit einer Lese-Rechtschreibschwäche (Legasthenie) werden mit einander verglichen. Am Beispiel von zwei ExpressMakern wird die noch wenig bekannte Schwäche der Fixation gezeigt, die darin besteht, dass die Probanden gehäuft mit dem optomotorischen Reflex reagieren und daher zu kurze Reaktionszeiten haben. In der Antisakkaden-Aufgabe produzieren sie auch zu viele Fehler. Ein monokulares Blicktraining verbessert die binokulare Stabilität, ein Fixationstraining mindert die Reflexanfälligkeit, aber nicht die unwillkürlichen Sakkaden. Fehler in der Antisakkaden-Aufgabe können durch spezielles Training gemindert werden, aber die einfache Stabilität profitiert nur wenig.

Einleitung

Beim natürlichen Sehen werden die Augen mit Sakkaden hin- und herbewegt, um mit der Fovea das Bild abzutasten. Dabei müssen die Augen, wenn auch nur für kurze Zeit, still stehen (fixiert werden). Die Fixation wird durch besondere Unterfunktionen des optomotorischen Systems im Gehirn geleistet. Dementsprechend kann es zu verschiedenartigen Instabilitäten der Fixation kommen.

Möglich sind 4 verschiedene Arten der Fixationsinstabilität:

1. *Keine und langsame Drifts der Augen*: Insoweit beide Augen unabhängig von einander driften, kann die binokulare Koordination gestört werden. Aber da diese Drifts ihrer Definition nach nur klein sind, sind die damit verbundenen Disparitäten klein, werden nicht wahrgenommen und stellen daher eigentlich kein Problem für den Sehprozess dar.
2. *Binokulare Instabilität*: Große langsame Drifts nur eines der beiden Augen oder beider Augen mit verschiedener Geschwindigkeit oder sogar in entgegengesetzter Richtung stören die Koordination des beidäugigen Sehens. Es kann zu Doppelbildern kommen, die aber nicht immer bewusst wahrgenommen werden, weil das Bild eines der beiden Augen unterdrückt werden kann.
3. *Einfache Instabilität*: Unwillkürliche Sakkaden während Phasen der Fixation. Sie werden in der Regel von beiden Augen in gleicher Größe und zur gleichen Zeit durchgeführt (konjugierte Sakkaden). Sie stören zwar nicht die binokulare Koordination, weil der Konvergenzwinkel zwischen den Blickrichtungen beider Augen erhalten bleibt, aber sie stören die Aufnahme und die Verarbeitung der retinalen Bilder im Gehirn (Fischer and Hartnegg 2000b).
4. *Mangelnde Reflexkontrolle*: Der optomotorische Reflex kann die Optomotorik so stark dominieren, dass gehäuft Sakkaden auftreten, die den gesamten Sehprozess immer wieder stören, indem sie die gerade ablaufende Bearbeitung der fovealen Bilder unterbrechen, bzw. abbrechen. Diese Art der Instabilität ist am wenigsten bekannt und kann auch nicht einfach durch Feststellung von Augenruhe gefunden werden. Bei diesen reflexartigen Sakkaden fehlt die Kontrolle durch das frontale Gehirn. Sie werden über das Tektum reflexartig erzeugt. Sie wurden erst 1983 bzw. 1984 entdeckt (Fischer and Boch 1983), (Fischer and Ramsperger 1984) und haben durch die Erforschung ihrer Eigenschaften und der Bedingungen, unter denen sie auftreten, zum Verständnis der Rolle der Fixation für die Blickmotorik allgemein beitragen (Mayfrank et al. 1986), (Fischer and Weber 1993), (Munoz and Wurtz 1992).

Diese Instabilitäten sind alle mit einer genügend genauen Messung der Augenbewegungen zu erkennen. (Wir sprechen hier nicht von Störungen des Binokularsehens, die auch bei intaktem Konvergenzsystem auftreten können und die okulografisch nicht feststellbar sind. Deswegen sollte man diese Fixationsschwächen am besten als „optomotorische Instabilität“ bezeichnen.)

Je nach Genauigkeit der Augenbewegungsmessung können die kleinen langsamen Drifts nicht gut und nicht sicher festgestellt werden. Sie kommen auch bei Gesunden vor, ohne den Sehprozess zu stören. Sie sind willentlich auch nicht zu unterdrücken. Es ist diskutiert worden, ob es diese kleinen Drifts sind, die die Wahrnehmung des Netzhautbildes überhaupt aufrecht erhalten, weil sie eine zeitliche Veränderung (genauer: Verschiebung) der Netzhautbilder bewirken, die die Adaptation bis zum Verblässen der Konturen (Fading) verhindert. Dieser Beitrag lässt die kleinen langsamen Drifts aus, weil unsere Infrarotlicht-Reflexmethode für die Messung der Augenbewegungen nicht genau genug ist. Die übrigen 3 Arten der Instabilität und deren mögliche Therapie werden hier behandelt.

Methodik

Die Daten stammen von Kindern und Jugendlichen, die teils wegen Lernstörungen unbekannter Ursache im Freiburger Blicklabor untersucht wurden oder die als Test- oder Kontrollpersonen an Studien teilnahmen.

Die Messung der Augenbewegungen erfolgte unter infrarotem Licht mit dem Iris-Skalar-System, oder mit dem ExpressEye (Hartnegg and Fischer 2002). Sie hatte eine zeitliche Auflösung von 1ms für jedes der beiden Augen und eine räumliche Auflösung von 0,1 Winkelgrad. Es wurden zwei Testsitzungen durchgeführt:

1. In der sog. Prosakkaden-Aufgabe wurde ein Fixationspunkt gezeigt, zu dem nach etwa 1s ein zweiter Lichtreiz rechts oder links zusätzlich erschien. Zu diesem sollte hingeschaut werden (daher Prosakkade).
2. In der sog. Antisakkaden-Aufgabe erschien zunächst auch ein Fixationspunkt, der aber schon 200ms bevor eine neuer Lichtpunkt erschien, ausgeschaltet wurde. So entstand eine zeitliche Lücke (engl. gap), während der gar nichts zu sehen war. Diesmal war die Anweisung, jeweils auf die diesem Lichtpunkt entgegengesetzte Seite (daher „anti“) zu blicken. Diese Aufgabe ist leicht zu verstehen, aber es ist erstaunlich schwierig, sie immer korrekt auszuführen.

In jeder Aufgabe wurden 200 Durchläufe, 100 zufällig mit Reiz rechts, 100 zufällig mit Reiz links, durchgeführt. Die Auswertung erfolgte nach Standardmethoden, die ausführlich beschrieben und erprobt sind (Fischer et al. 1997).

Binokulare Instabilität: Die quantitative Erfassung der binokularen Instabilität allerdings bedurfte der Einführung einer bisher nicht bekannten Methode. Die Prosakkaden-Aufgabe, während der immer ein Punkt zu sehen ist, der fixiert werden soll, wird als Messfenster benutzt. In dieser Zeit wird die relative Geschwindigkeit der beiden Augen mit einer zeitlichen Auflösung von 1ms aus den Positionsmessungen beider Augen berechnet. Dann wird die Zeitperiode bestimmt, während der der absolute Wert dieser Geschwindigkeit einen Grenzwert überschritt. Die Summe dieser Zeitphasen wurde für jeden Durchlauf als Prozentsatz der Messzeit berechnet. Wenn diese Summe mehr als 15% der Messzeit überschritt, wurde der Durchlauf als „auffällig“ gezählt. Dem Probanden wurde die Prozentzahl solcher binokular auffälligen Durchläufe unter allen ausgewerteten Durchläufen zugewiesen. Die Maßzahl wird als binokularer Index (bindex, bdx) bezeichnet. Diese Methode ist konservativ, weil sie viele kleine Instabilitäten als „unbedeutend“ für den Sehprozess klassifiziert. Zusätzlich wurde dann für jede Altersgruppe der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet, sodass schlussendlich als „auffällig“ nur die Person gewertet wurde, deren Wert außerhalb eine Standardabweichung vom Mittelwert der Kontrollpersonen lag.

Einfache Instabilität: Die unwillkürlichen Sakkaden wurden während der letzten 400ms vor Erscheinen des Blickziels in jedem Durchlauf der Prosakkaden-Aufgabe gezählt. Der Mittelwert dieser Zahlen über alle Durchläufe wurde berechnet und als mittlere Anzahl pro Durchlauf jeder Person zugewiesen.

Die *Reflexkontrolle* wurde als die mittlere Prozentzahl der Express Sakkaden in der Prosakkaden-Aufgabe berechnet. Diese Sakkaden haben Reaktionszeiten zwischen 80 und 135ms und bilden eine eigene Gruppe im Spektrum aller Reaktionszeiten. In dieser Situation sollten eigentlich keine oder nur wenig Express Sakkaden auftreten, weil die Sichtbarkeit des Fixationspunkts dies in der Regel verhindert (Mayfrank et al. 1986), (Munoz and Wurtz 1992).

Ergebnisse

Binokulare Instabilität (Langsame Drifts)

Die Abb. 1 zeigt anhand von zwei Original-Aufzeichnungen aus der Prosakkaden-Aufgabe die Problematik der binokularen Instabilität. Während in der ersten Phase der Durchläufe beide Augen (fast) ruhen, treten nach den Sakkaden Drifts des rechten Auges (oberes Beispiel) und beider Augen (unteres Beispiel) auf. Die rot gekennzeichneten Teile der relativen Geschwindigkeit markieren

Zeitbereiche, während der die beiden Augen den Konvergenzwinkel nicht halten konnten. In anderen Durchläufen kann es das linke Auge sein, welches durch langsame Drifts den Konvergenzwinkel destabilisiert. Über eine mögliche Dominanz eines der beiden Augen wird weiter unten berichtet.

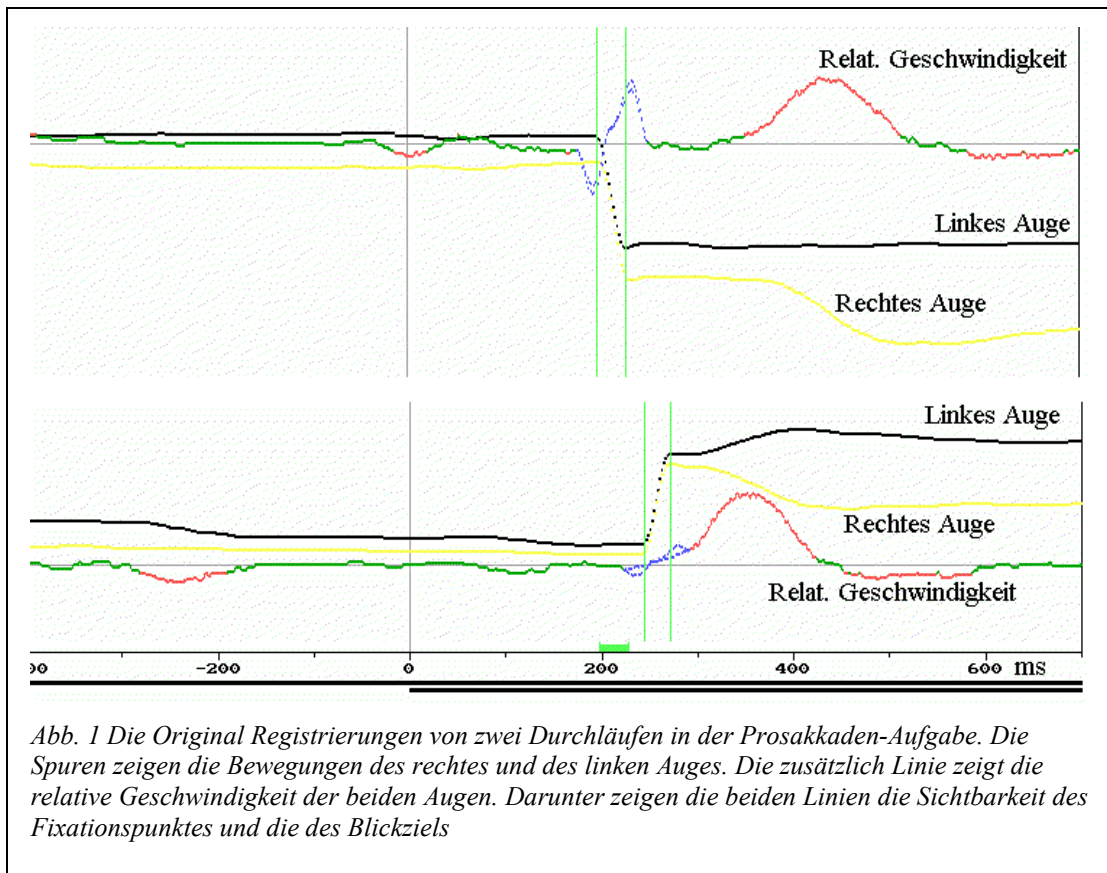
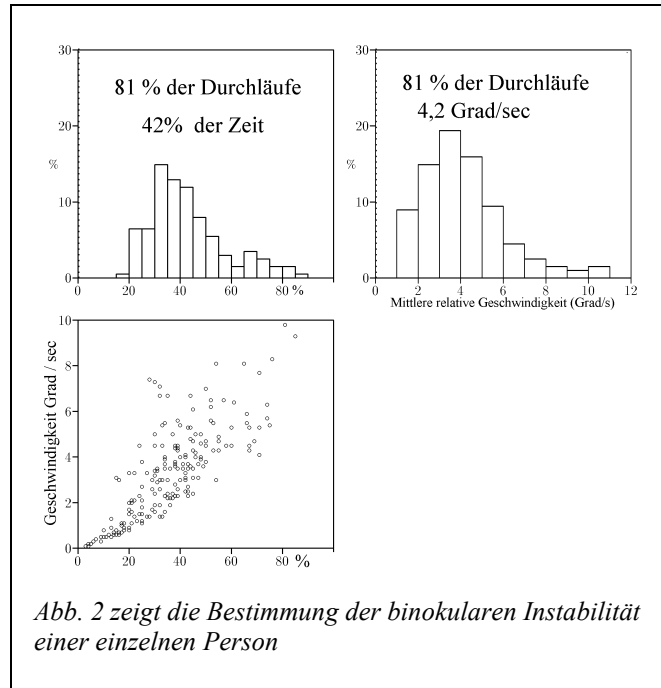


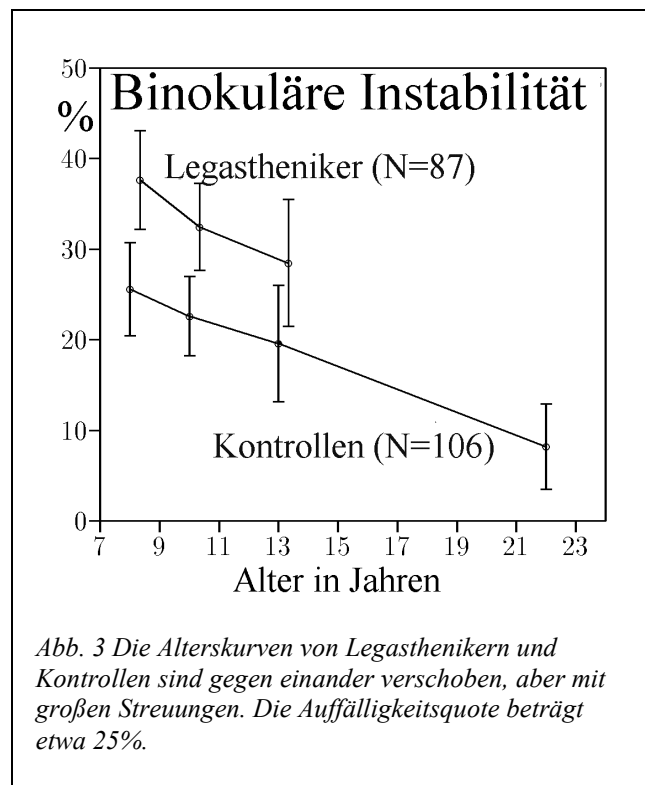
Abb. 1 Die Original Registrierungen von zwei Durchläufen in der Prosakkaden-Aufgabe. Die Spuren zeigen die Bewegungen des rechtes und des linken Auges. Die zusätzlich Linie zeigt die relative Geschwindigkeit der beiden Augen. Darunter zeigen die beiden Linien die Sichtbarkeit des Fixationspunktes und die des Blickziels

Die Auswertung der gesamten Testsitzung bezgl. der binokularen Instabilität ist in Abb. 2 dargestellt. Links ist die Verteilung der instabilen Zeiten in den Durchläufen zu sehen. Der Mittelwert der Auffälligkeitsdauer betrug 42% der Messzeit, war damit also ziemlich hoch. Insgesamt waren 81% der Durchläufe auffällig, der bindex ist 81%.

Rechts ist die Verteilung der mittleren relativen Geschwindigkeiten in diesen Durchläufen zu sehen. Ihr Mittelwert betrug 4,2 Grad pro Sekunde.



Im unteren Teil der Abb. 2 sieht man den Scatterplot der zeitlichen Prozentzahlen versus der zugehörigen mittleren relativen Geschwindigkeit. Die deutliche Korrelation zeigt, dass man für die Beschreibung der Instabilität nur einen der beiden Werte benutzen muss.



Die Abb. 3 zeigt die beiden Alterskurven der binokularen Instabilität. Wie auch in anderen Bereichen der Blicksteuerung und der Wahrnehmung sieht man eine Entwicklung, die über das 7. Lebensjahr hinaus deutlich anhält. Die Streuung in jeder Altersstufe ist groß. Daher ergeben sich auch „nur“ relativ kleine Auffälligkeitsquoten (gemessen mit Prozentrang 16 der Kontrollgruppe) in der Höhe von etwa 25%, fast unabhängig vom Alter.

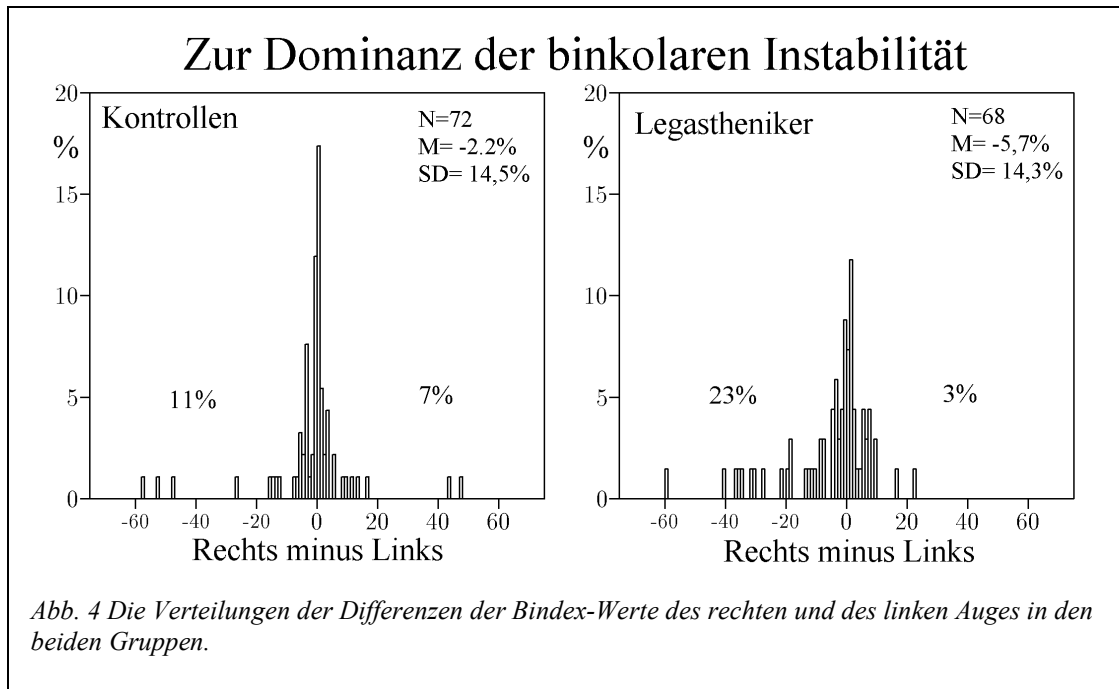
Gelegentlich sieht man, dass der bindex im Laufe der Sitzung größer wird, d. h. dass hier eine Art Ermüdung stattfindet. Außerdem ist der Gesamtbindex als Mittelwert über alle Durchläufe nicht immer stabil: bei Wiederholung der Messung an einem anderen Tag, können andere Werte herauskommen. Dies ist zwar für die Diagnostik ein Nachteil, aber es zeigt, dass hier noch andere Größen eine Rolle spielen, die derzeit nicht kontrolliert werden. Aber: wenn ein Kind in diesem Bereich besonders anfällig ist, so trifft diese wahrscheinlich auch auf den Alltag zu und könnte Tagesschwankungen in anderen Bereichen, z.B. im Bereich schulischer Fertigkeiten erklären.

Augendominanz der binokularen Instabilität

Beim beidäugigen Sehen fallen immer nur diejenigen Objekte auf korrespondierende Netzhautstellen, die sich in derselben Entfernung von den Augen befinden. Alles, was deutlich weiter weg oder deutlich näher dran ist, erzeugt eigentlich Doppelbilder, die aber meist nicht bewusst wahrgenommen werden, sondern erst „sichtbar“ werden, wenn man darauf achtet. Eins der beiden Bilder der beiden Augen wird also meistens unterdrückt. Dabei entsteht die Frage, welches der beiden Bilder unterdrückt wird, bzw. welches dem Bewusstsein eher zugänglich ist. In diesem Zusammenhang wird oft von dem dominanten Auge gesprochen, welches allein benutzt wird, wenn es zu einem binokularen Wettstreit kommt.

Hier kann also auch die Frage gestellt werden, ob es gehäuft das rechte oder das linke Auge ist, welches die binokulare Instabilität durch „eigenmächtige“ Bewegungen erzeugt. Dazu wurden die Anteile des rechten und des linken Auges in jedem Durchlauf getrennt für die beiden Augen bestimmt. So werden zwei Indices ermittelt, die jeweils den Anteil des rechten und des linken Auges angeben. Es war wichtig, diese Maßzahlen für jeden Durchlauf extra zu bestimmen, weil es durchaus vorkommt, dass in einem Durchlauf das linke, in einem anderen das rechte Auge, die Instabilität erzeugt. In wieder anderen Durchläufen können beide Augen mehr oder weniger zu der Instabilität beitragen.

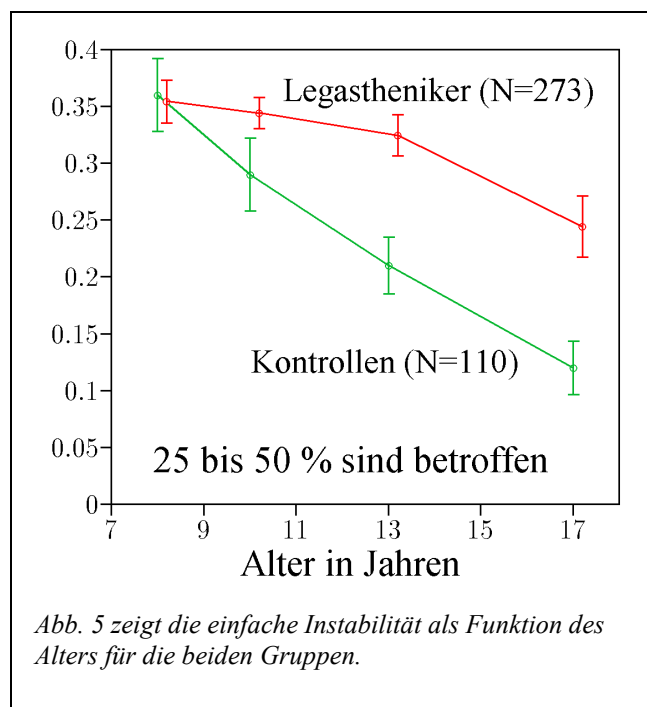
Wieder konnten zwei Gruppen untersucht werden: eine Gruppe mit Kontrollpersonen, die andere mit Legasthenikern. Es stellte sich heraus, dass sowohl unter den Kontrollen als auch unter den Legasthenikern, das linke Auge häufiger die Instabilität erzeugte und dass in diesen Fällen die Instabilität stärker war als die, die das rechte Auge erzeugte. Aber in den meisten Fällen war der Beitrag beider Augen etwa gleich. Dies kann man genauer in der Abb. 4 sehen, die die Verteilung der Differenzwerte des bindex darstellt. Unter den Legasthenikern treten häufiger Instabilitäten des linken Auges auf, nämlich 26% (wenn man die Werte außerhalb von -10% und $+10\%$ zählt), gegenüber 18% bei den Kontrollen. In beiden Gruppen ist es öfters das linke Auge als das rechte Auge, welches die Instabilität erzeugt. Aber statistisch gesehen, gibt es für die Dominanz der beiden Augen wegen der großen Streuung keinen Unterschied, d.h. eine Dominanz eines der beiden Augen ist eher selten.



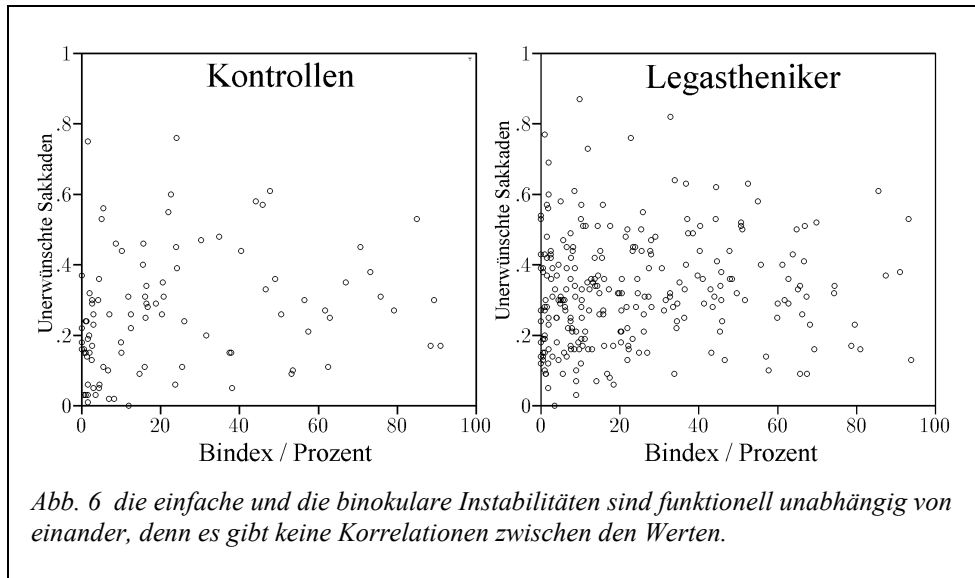
Einfache Instabilität (Unwillkürliche Sakkaden)

Mehr oder weniger große Sakkaden während einer Fixationsphase stellen per Definition eine Instabilität dar. Sie wird gemessen, indem die Anzahl solcher Sakkaden pro Durchlauf bestimmt und als Maßzahl für das Ausmaß der Instabilität benutzt wird. Die Abb. 5 zeigt die einfache Instabilität als Funktion des Alters für die beiden Gruppen. Mit Eintritt in die Schule waren beide Gruppen noch nicht zu unterscheiden. Aber in den folgenden Jahren laufen die Kurven deutlich auseinander: zwar verbessert sich die Situation für die Legastheniker auch etwas, aber sie bleibt hinter der Altersentwicklung der Kontrollpersonen deutlich zurück.

Die Frage, ob die beiden Arten von Instabilität den gleichen Ursprung haben, kann man beantworten, indem man die Korrelation der beiden entsprechenden Größen berechnet. Haben sie den gleichen Ursprung sollten die Werte miteinander korrelieren.



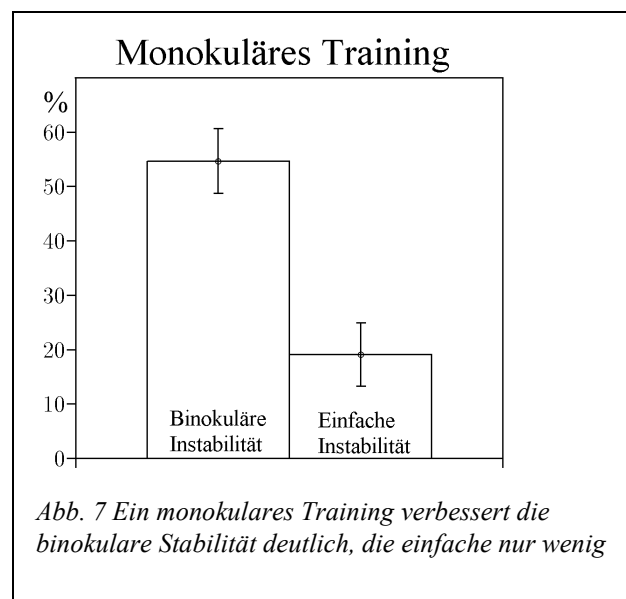
Die Abb. 6 zeigt die beiden Scatterplots der einfachen gegen die binokulare Instabilität. Eine signifikante Korrelation wurde trotz der großen Teilnehmerzahlen weder in der einen noch in der anderen Gruppe gefunden.



Monokulares Training der Fixation

Um die binokulare Instabilität zu verbessern, wurde der Gedanke von J. Stein aufgenommen und den Betroffenen wurde ein monokulares Blicktraining angeboten (Stein and Fowler 1985).

Die Abb. 7 zeigt die prozentuale Reduktion der binokularen und der einfachen Instabilität durch ein monokulares Training. Während die binokulare Instabilität deutlich um mehr als 50% hochsignifikant reduziert wird, ändert sich die einfache Instabilität nur wenig (nicht mal 20% im Mittel und nicht signifikant). Dies unterstützt die schon oben genannte Folgerung der Unabhängigkeit der beiden Arten von Instabilität der Fixation. Schon hier wird darauf hingewiesen, dass das monokulare Training auch die Reflexe in der Prosakkaden-Aufgabe nicht mindert, sehr wohl aber die Anzahl der Fehler in der Antisakkaden-Aufgabe reduziert.



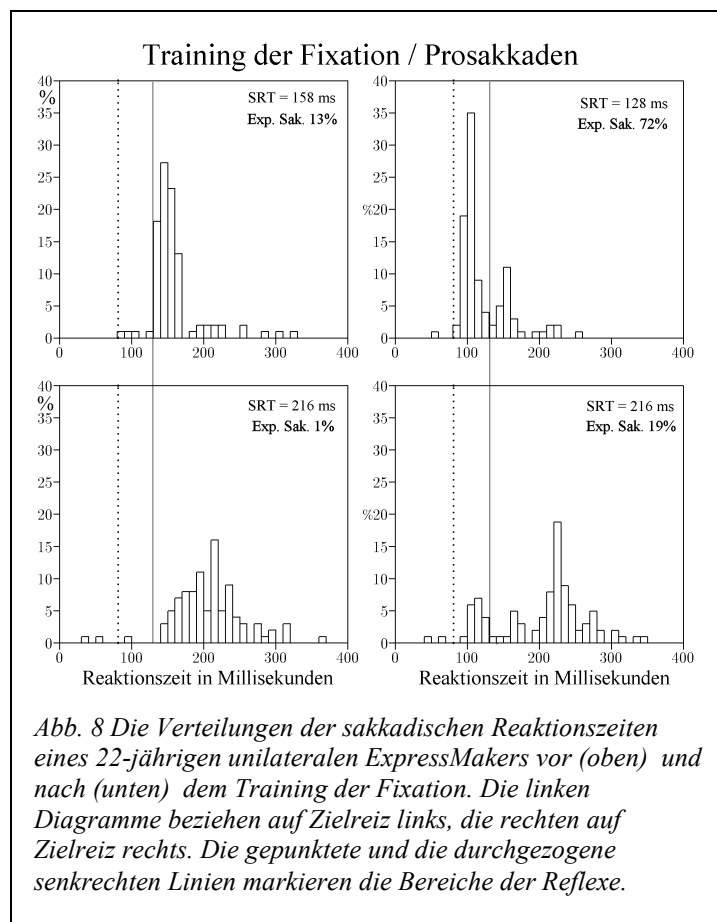
Mangelnde Reflexkontrolle (Express Sakkaden)

Die Instabilität der Fixation kann sich darin zeigen, dass trotz Fixationshilfe zu viele optomotorische Reflexe registriert werden. Dies bedeutet, dass die Fixationsperioden eventuell zu oft zu kurz ausfallen und der Sehprozess in dieser kurzen Zeit nur unvollständig abgelaufen ist. Personen, die „schnell“ genug sehen können, werden keinerlei Beschwerden haben, auch nicht beim Lesen. Wem aber diese kurze Zeit nicht reicht, wird zwar im Alltag nicht viel darunter leiden, aber beim Lesen können sich zu viele Fehler einstellen, z.B. unvollständig gelesene Wörter, bei denen die Endung nicht mit gelesen wird.

Diese Art der Instabilität lässt sich nicht dadurch feststellen, dass die Augen während der Fixation tatsächlich nicht ruhen. Man muss vielmehr das System dazu bringen, Sakkaden zu generieren. Wenn diese dann als Reflexe nach extrem kurzen Reaktionszeiten (Express Sakkaden) auftreten, hat man einen Hinweis auf eine zu schwache Fixierung der Augen. Denn: bei sichtbarem Fixationspunkt hat eine Sakkade zu einem hinzukommenden Blickziel selten eine Reaktionszeit von weniger als 135ms.

Bildlich gesprochen: um zu sehen, ob bei einem geparkten Auto die Handbremse angezogen ist, muss man es anschieben (man kann es nicht von außen sehen). Wenn sich das Auto gleich und leicht bewegen lässt, ist die Handbremse nicht angezogen oder defekt.

Ein Übermaß an Reflexen (=Express Sakkaden) sieht man im Spektrum der Reaktionszeiten in der Prosakkaden-Aufgabe, welches dann einen deutlichen Gipfel im Bereich von 80 bis 135ms zeigt die Abb. 8 (oben rechts).



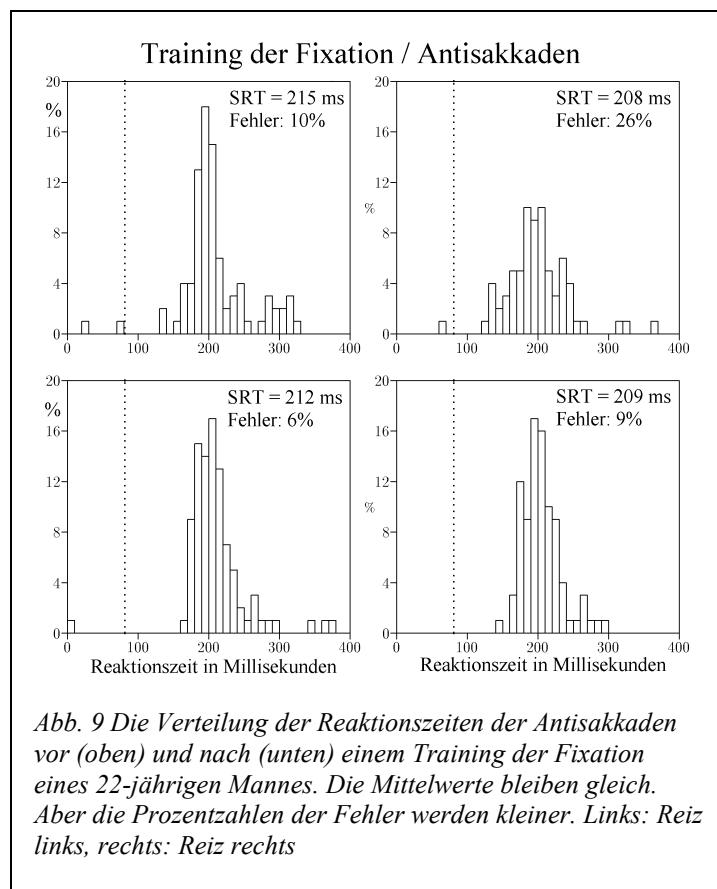
Die Abb. 8 zeigt mit den oberen Grafiken die Verteilungen der sakkadischen Reaktionszeiten von einem 22-jährigen Mann, der bei Blick nach rechts 72% Express Sakkaden hat (das ist viel zu hoch)

und nach links 13% (das ist in der Altersnorm). Die Mittelwerte der Reaktionszeiten sind entsprechend verschieden (128ms rechts, und 158ms links). Es gibt natürlich hauptsächlich bilaterale ExpressMakers (wie sie genannt werden). Dieses Beispiel eines unilateralen ExpressMakers wurde gewählt, weil man an ihm auch gleich die Spezifität dieser Blickauffälligkeit sehen kann.)

Dieselben Personen weisen auch bei der Ausführung der Antisakkaden-Aufgabe eine erhöhte Fehlerzahl auf: sie können den Reflex nicht oft genug verhindern und schauen unwillkürlich zum neuen Lichtpunkt, den sie weder anschauen sollten noch anschauen wollten. In der Hälfte der Fälle bleiben ihnen diese Fehler unbewusst (Fischer and Mokler 1997). Sie haben aber sonst keine Schwierigkeiten, auf die andere Seite zu schauen, denn sie korrigieren ihre Fehler sehr häufig und sehr schnell. Mit anderen Worten: es gibt zwei Gründe für zu viele Fehler bei der Antisakkaden-Aufgabe: eine zu schwache Fixation und eine Schwierigkeit, auf die *andere Seite* zu blicken.

Training der Reflexkontrolle

Man kann die Reflexbeherrschung verbessern, indem man ein Fixationstraining aufgibt, eventuell gefolgt von einem Training der Antisakkaden. Dazu wird eine visuelle Sehaufgabe täglich 200 mal geübt, bei der man die Orientierung eines kleinen T erkennen muss, welches schnell seine Orientierung zwischen den vier Kardinalrichtungen oben, unten, rechts und links ändert. Diese Aufgabe lässt sich am besten mit fovealem Sehen erfolgreich durchführen und veranlasst daher die trainierende Person dazu, die Augen auf diesen kleinen Reiz zu richten und dort zu halten, bis die Serie von Änderungen plötzlich und unvorhergesehen abbricht. Die letzte gesehene Richtung muss mit der entsprechenden Pfeiltaste angegeben werden. Details hierzu können nachgelesen werden (Fischer and Hartnegg 2000a).

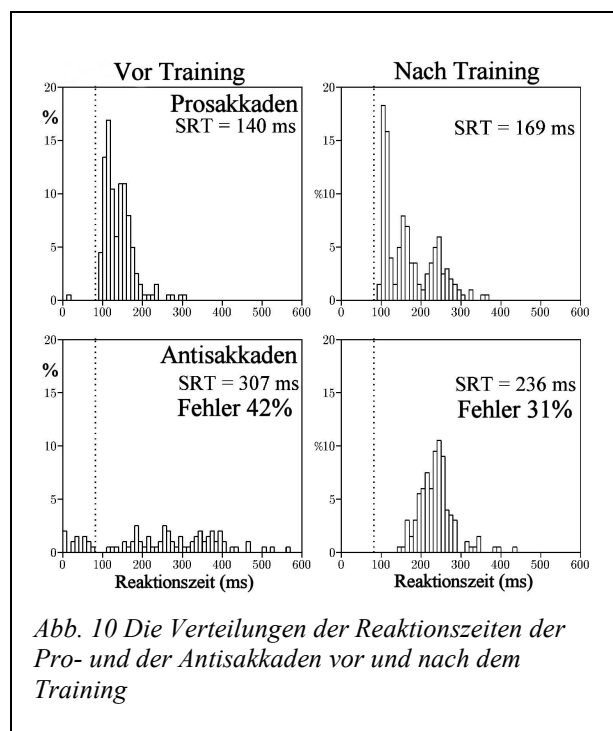


Mit diesem Training werden die Reflexe zahlenmäßig reduziert (von 72% auf 19%) und die mittlere Reaktionszeit der Prosakkaden wird länger (von 128ms auf 216ms, weil die schnelle Komponente

rechts stark vermindert ist). Auch links gibt es eine Verlängerung der mittleren Reaktionszeit von 158ms auf 216ms. Damit waren nun alle Werte dieses Probanden im Bereich der Altersnorm.

Während dieses Training deutlich auf die Reaktionszeiten der Prosakkaden wirkt, lässt es die der Antisakkaden fast unverändert. Die Abb. 9 zeigt die Reaktionszeiten der korrekten Antisakkaden (getrennt für rechts und links, selbe Person wie in Abb. 8) vor und nach dem Training der Fixation. Die Mittelwerte bleiben erhalten, die Streuungen werden etwas kleiner. Was sich ändert, sind die Fehlerquoten: sie werden kleiner. Vor dem Training waren es links 10% (ein kleiner Wert) und rechts 26%, der auch noch in der Altersnorm liegt, aber immerhin fast 3mal so hoch wie der linke Wert. Nach dem Training ergaben sich links nur noch 6% Fehler (eine kleine Verbesserung) und rechts 9% Fehler, eine deutliche Verbesserung.

Es gibt auch ExpressMaker, die außer einer besonderen Anfälligkeit der Reflexe auch Probleme haben, in der Antisakkaden-Aufgabe ihren Blick auf die gegenüber liegende Seite zu lenken, ohne vorher reflexartig auf den Reiz zu blicken. Solchen Probanden muss außer einem Fixationstraining auch ein Antisakkaden-Training aufgegeben werden und zwar in genau dieser Reihenfolge.



Die Abb. 10 zeigt die Reaktionszeiten aus beiden Aufgaben vor und nach dem Training. Man sieht, dass in diesem Fall der 3. Gipfel zwischen 200 und 300 ms vor dem Training vollständig fehlt. Stattdessen gibt es einen hohen Gipfel von Express Sakkaden. Nach dem Training ist er deutlich vorhanden und der Mittelwert der Reaktionszeiten ist entsprechend von 140ms auf 169ms gestiegen. In der Antisakkaden-Aufgabe sind dagegen die Reaktionszeiten, die vorher fast nur zufällig verstreut waren und einen Mittelwert von 307ms aufwiesen, nun ordnungsgemäß gebündelt mit einem Mittelwert von 236ms. Werden die einen Sakkaden langsamer, werden die anderen im Mittel schneller. Hier erkennt man auch noch einmal, dass die beiden Typen von Sakkaden von einander unabhängig sind und von verschiedenen Hirnstrukturen gesteuert werden, denn sonst könnten keine gegenläufigen Trainingseffekte vorkommen.

Weil nicht alle ExpressMaker auch ein Leseproblem haben und die Zahl der ExpressMaker in der Bevölkerung sowieso nicht sehr hoch ist, gibt es noch keine systematischen Daten zum Thema des Abtrainierens von Express Sakkaden. Aber es gibt eine ganze Reihe von Einzelbeobachtungen, aus

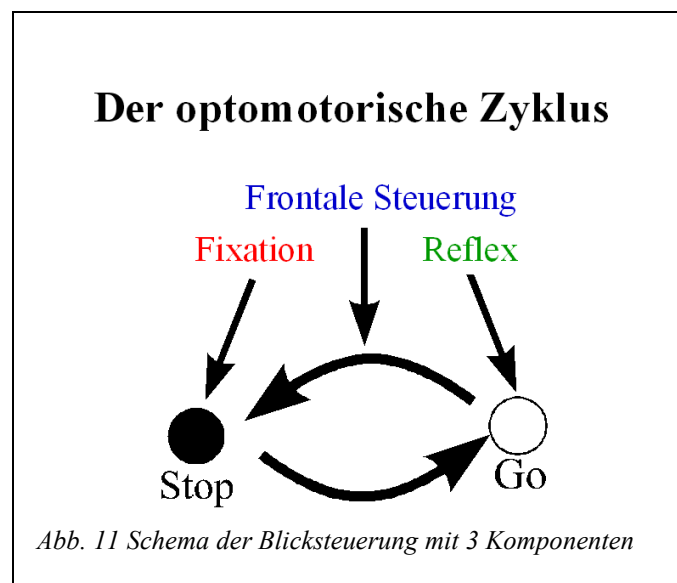
denen man sieht, dass die Stärke der Fixation tatsächlich verbessert werden kann. Deswegen wurde hier zunächst einmal nur zwei Beispiele gezeigt. Mehr zu den ExpressMakern findet man in der Literatur (Biscaldi et al. 1996), wo gezeigt wird, dass das Problem der ExpressMaker tatsächlich eine Schwäche der Fixation ist.

Zwischen der Werten der einfachen Instabilität und den Reflexzahlen besteht ebenso wenig eine Korrelation wie zwischen der einfachen und der binokularen Instabilität. Dies bedeutet, dass die 3 Arten der Instabilität keine gemeinsame Ursache haben. Dies erklärt auch, warum die unwillkürlichen Sakkaden durch ein Blicktraining, welches die Reflexe mindert, die einfache Instabilität nicht systematisch bekämpft werden kann.

An dieser Stelle soll auch noch berichtet werden, dass ein Training, welches die Fehler in der Antisakkaden-Aufgabe deutlich (signifikant) reduziert, die einfache Instabilität nicht wesentlich (nicht signifikant) verbessert.

Der optomotorische Zyklus

Aus den Daten zur Sakkadensteuerung und aus den Daten zur Fixation, bzw. der Instabilität der Fixation lässt sich ein Schema ableiten, welches die Zusammenhänge prinzipiell erklärt. Die Abb. 11 zeigt dieses Schema. Die Komponente „Stop“ kennzeichnet die Funktion der Fixation. Sie verhindert Sakkaden. Die Komponente „Go“ steht für die Reflexe. Diese beiden Komponenten alleine können einen praktisch selbständigen „Stop-and-Go-Verkehr“ der Blicksteuerung unterhalten, wie wir ihn beim alltäglichen Sehen meistens benutzen. Man muss nicht über jede Sakkade nachdenken, um sie dann bewusst auszulösen. Man nennt diese Steuerung den optomotorischen Zyklus.



Aber immer darf dieser Zyklus nicht automatisch ablaufen. Wir müssen auch in der Lage sein, den Blick willentlich zu fixieren oder ihn bewusst auf eine neue Stelle zu richten, z.B. im Straßenverkehr. Beim Lesen muss der Zyklus dem ablaufenden Leseprozess untergeordnet werden: eine weitere Sakkade muss möglichst genau dann erzeugt werden, wenn der Leseprozess dies verlangt. Diese Kontrolle kommt aus dem frontalen Gehirn und kann mit der Antisakkaden-Aufgabe geprüft werden (Buchtel and Guitton 1980). Den Zusammenhang zwischen Leseprozess und Sakkade wurde sehr genau und umfangreich untersucht und hat zu einem umfassenden Modell des Lesen geführt, in dem die Blickkontrolle dem frontalen Augenfeld zugeordnet wird (Reichle et al. 2003). Natürlich sagt dieses Modell dann voraus, dass bei Unzuverlässigkeiten der frontalen Komponente der Blicksteuerung (auch wenn gar nicht gelesen werden muss, wie bei der

Antisakkaden-Aufgabe) Schwierigkeiten beim Lesen auftreten, die nicht der Sprachverarbeitung selbst angelastet werden können. Das Modell sagt dementsprechend auch, dass ein Training der frontalen Blickkomponente den Leseprozess erleichtert (Fischer 2003).

Werden auf dem Weg vom Sakkadenbefehl bis zur tatsächlichen Auslösung der Sakkade noch unerwünschte Sakkaden erzeugt (z.B. durch eine Überaktivität im Hirnstamm), so ist klar, dass diese durch eine weiter zentral wirksame „Bremsen“ nicht verhindert werden können. Und so erklärt sich, dass die einfache Instabilität weder durch ein monokulares Training noch durch ein Fixationstraining reduziert werden kann.

Ist die Fixation zu schwach, so ist das Stoppsignal, welches die Reflexe bremsen soll, zu schwach und es können vermehrt Reflexe ausgelöst werden. Diese können allerdings durch ein Training verhindert werden, welches die Fixation stärkt. Die unerwünschten Sakkaden dagegen bleiben danach in etwa der selben Häufigkeit erhalten.

Diskussion

Binokulare Instabilität: Dass die beiden Augen einen für die Sehweite benötigten Konvergenzwinkel einhalten, muss im Laufe der ersten Lebensjahre erlernt werden. Oft treten in dieser Zeit noch „falsche“ Winkel auf, das Kind scheint zu schielen. Wird die augenmotorische Konvergenz in der nächsten Zeit nicht doch noch erlernt, kommt es zu einer permanenten Schielstellung, eines der beiden Augen nimmt nicht mehr gleichberechtigt am Sehprozess teil: es kommt womöglich zu einer Operation, die dann vielleicht auch „nur“ einen kosmetischen Effekt hat. Diese zu verhindern, bzw. zu behandeln, hat man früher das „unfolgsame“ Auge für längere Zeit alleine blicken lassen. Diese Okklusions-Behandlung kann erfolgreich sein, aber sie birgt die Gefahr, dass nun das gesunde Auge an Sehkraft verliert.

Zur Behebung der hier besprochenen binokularen Instabilität wurde ebenfalls ein monokulares Training (also eine Okklusionsmaßnahme) eingesetzt, aber eines der beiden Augen wurde nur für die wenigen Minuten des täglichen Trainings abgedeckt. Diese einfache Maßnahme hat bei fast allen Kindern der Testgruppe zu einer deutlichen Verbesserung der Stabilität des Konvergenzwinkels geführt. Bei Kindern mit einer Leseschwäche hat diese Maßnahme sogar deutliche Lesefortschritte beschert (Stein and Fowler 1985).

Es gibt, außer der hier besprochenen binokularen Instabilität noch mindestens zwei andere Probleme des beidäugigen Sehens: das latente Schielen (Heterophorie) und die Winkelfehlsichtigkeit. Zur Diagnose einer Heterophorie wird der Abdecktest verwendet. Der Augenarzt beobachtet dabei eine mögliche kleine Einstellbewegung eines der beiden Augen. Insoweit könnte eine Heterophorie am besten mit den Mitteln der Okulographie diagnostiziert werden. Aber sie stellt ihrem Wesen nach wahrscheinlich keine optomotorisch bedingte Instabilität der Fixation dar, sondern eine Fehlstellung eines der beiden Augen, deren Größe mit einem Winkelwert gemessen werden kann.

Die Winkelfehlsichtigkeit – ein Begriff, der in der klassischen Augenheilkunde nicht vorkommt und auch abgelehnt wird – wird dagegen mit subjektiven Wahrnehmungstests diagnostiziert. Auch sie ergeben einen festen Wert, der ihr Ausmaß beschreibt und der angibt, wie stark die Prismenbrille sein muss, die zur Therapie eingesetzt wird.

Bei Heterophorie bzw. Winkelfehlsichtigkeit wird eine Prismenbrille verschrieben, also eine statische Maßnahme. Im Gegensatz dazu sind die hier besprochenen Instabilitäten dynamische Phänomene, denen man nicht mit statischen Hilfen begegnen kann, sondern, wenn überhaupt, mit gezieltem Training. Ob eine dynamische Instabilität die Folge eines statischen Stellungsfehlers sein kann, weil das Gehirn immer wieder vergeblich versucht, diesen statischen Fehler zu korrigieren, ist allerdings bisher nicht untersucht.

Einfache Instabilität: Unerwünschte unwillkürliche Sakkaden beider Augen werden wahrscheinlich ziemlich am Ende der zentralen Blicksteuerung, kurz bevor die Augenmuskeln selbst angesteuert werden, in das System gebracht. Das würde zumindest erklären, warum beide Trainingsmaßnahmen in diesem Punkt erfolglos waren.

Reflexkontrolle: Die Fixierung der Augen zum Zweck der fovealen Betrachtung eines Objekts oder eines Wortes ist für das Gehirn keine Selbstverständlichkeit. Die Stellung der Augen muss aktiv gehalten werden. Dieser Umstand ist in der Augenbewegungsforschung lange vernachlässigt worden. Die Forschung interessierte sich für die Bewegung der Augen, nicht für deren Ruhe. Allerdings gab es schon früh Hinweise darauf, dass es neuronale Strukturen gibt, in denen diese Leistung erbracht wird (Mountcastle et al. 1981). Erst Jahre später wurde das Fixationssystem genauer bekannt, als man im Tektum Nervenzellen fand, die während der aktiven Fixation aktiv waren, während der Sakkaden aber nicht (Munoz and Wurtz 1993).

Es wurde auch dabei geklärt, dass die Express Sakkaden über das Tektum gesteuert werden und nicht über das frontale Augenfeld (Schiller et al. 1987). Erst wenn die Fixationsneurone ihre Aktivität einstellen, können Express Sakkaden zu neuen Reizen führen (Dorris and Munoz 1995), (Munoz and Wurtz 1992). Daraus ergibt sich, dass bei einer Schwäche dieses Fixationssystems vermehrt Express Sakkaden auftreten. Man versteht auch sofort, warum diese Schwäche für die beiden Blickrichtungen (nach links bzw. nach rechts) verschieden ausfallen kann, denn auch das System zur Blicksteuerung, einschließlich der Fixation, ist bilateral im Gehirn angelegt.

Interessanterweise hat die genauere Erforschung der Sakkadenerzeugung, also einer Form der Augenbewegung (nicht der Augenruhe), auch zu einer Würdigung und zu einem besseren Verständnis der Fixation geführt. Das hat damit zu tun, dass man die Reaktionszeiten gemessen und versucht hat, deren Länge systematisch zu verändern (Mayfrank et al. 1986).

Mit den hier beschriebenen Methoden können wenigstens 3 verschiedene Arten der Instabilität der Fixation diagnostiziert und zwei davon auch behandelt werden. Bei Problemen mit der Blicksteuerung, die nicht mit Schwächen der Fixation zu tun haben, gibt es eine seit langem erprobte Diagnostik (Fischer et al. 1997), (Biscaldi et al. 2000) und gut untersuchte Trainingsverfahren bei Kindern und Jugendlichen mit Schulproblemen, insbesondere im Bereich von Legasthenie (Fischer and Hartnegg 2000a). Dass die Steuerung von Pro- und Antisakkaden durch tägliches Üben gezielt verändert werden kann, hat auch eine amerikanische Studie ergeben (Dyckman and McDowell 2005). Schließlich sind auch die positiven Auswirkungen des Blicktrainings auf die Leseleistung nachgewiesen (Fischer 2003).

In diesem Beitrag sind außer Gruppen von Kontrollkindern Gruppen von Legasthenikern analysiert und mit einander verglichen worden. Natürlich gibt es auch bei anderen Gruppen, wie z.B. bei Kindern mit Aufmerksamkeitsstörungen Instabilitäten der Fixation. Allerdings liegen für diese noch keine vollständigen Studien bzgl. der Häufigkeit und der Trainingserfolge vor. Es ist aber davon auszugehen, dass es keine qualitativen Änderungen geben wird, weil die Prinzipien der Fixation und deren Koordination mit der Sakkadensteuerung sich nicht grundsätzlich unterscheiden.

Literatur

1. Biscaldi M, Fischer B, Hartnegg K (2000) Voluntary saccade control in dyslexia. *Perception* 29:509-521
2. Biscaldi M, Fischer B, Stuhr V (1996) Human express-saccade makers are impaired at suppressing visually-evoked saccades. *J Neurophysiol* 76:199-214
3. Buchtel HA, Guitton D (1980) Saccadic eye movements in patients with discrete unilateral frontal-lobe removals. *Neurosci Abstr* 6 Nr. 114.3:316
4. Dorris M, Munoz D (1995) A neural correlate for the gap effect on saccadic reaction time in monkey. *J Neurophysiol* 73:2558-2562
5. Dyckman KA, McDowell JE (2005) Behavioural plasticity of antisaccade performance following daily practice. *Exp-Brain-Res* 162:63-69
6. Fischer B (2003) Frontal lobe functions in reading: Evidence from dyslexic children performing non-reading tasks. *Behavioral and Brain Sciences* 26:484-486
7. Fischer B, Boch R (1983) Saccadic eye movements after extremely short reaction times in the monkey. *Brain-Res* 260:21-26
8. Fischer B, Gezeck S, Hartnegg K (1997) The analysis of saccadic eye movements from gap and overlap paradigms. *Brain Research Protocols* 2:47-52
9. Fischer B, Hartnegg K (2000a) Effects of visual training on saccade control in dyslexia. *Perception* 29:531-542
10. Fischer B, Hartnegg K (2000b) Stability of gaze control in dyslexia. *Strabismus* 8:119-122
11. Fischer B, Mokler A (1997) The recognition of reflexive saccades in an antisaccade task. *ARVO* 4345:
12. Fischer B, Ramsperger E (1984) Human express saccades: extremely short reaction times of goal directed eye movements. *Exp-Brain-Res* 57:191-195
13. Fischer B, Weber H (1993) Express Saccades and Visual Attention. *Behavioral and Brain Sciences* 16,3:553-567
14. Hartnegg K, Fischer B (2002) A turn-key transportable eye-tracking instrument for clinical assessment. *Behavior, Research Methods, Instruments, & Computers* 34:625-629
15. Mayfrank L, Mobashery M, Kimmig H, Fischer B (1986) The role of fixation and visual attention in the occurrence of express saccades in man. *European Archives of Psychiatry & Neurological Sciences* 235:269-275
16. Mountcastle VB, Andersen RA, Motter BC (1981) The influence of attentive fixation upon the excitability of the light-sensitive neurons of the posterior parietal cortex. *J-Neurosci* 1:1218-1225
17. Munoz D, Wurtz R (1993) Interactions between fixation and saccade neurons in primate superior colliculus. *Soc Neurosci Abstr* 19:787:321
18. Munoz DP, Wurtz RH (1992) Role of the rostral superior colliculus in active visual fixation and execution of express saccades. *J-Neurophysiol* 67:1000-1002
19. Reichle ED, Rayner K, Pollatsek A (2003) The E-Z-Reader model of eye-movement control in reading: comparison to other models. *Behav Brain Sci* 26:445-526
20. Schiller PH, Sandell JH, Maunsell JH (1987) The effect of frontal eye field and superior colliculus lesions on saccadic latencies in the rhesus monkey. *J Neurophysiol* 57:1033-1049
21. Stein J, Fowler S (1985) Effect of monocular occlusion on visuomotor perception and reading in dyslexic children. *LANCET* 2:69-73