

Prof. Dr. Jürgen Nolting
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Muhs

Das Ziel fest im Blick – Umrüstung eines Eye Trackers für den mobilen Einsatz –

1. Was bisher geschah...

In einer Diplomarbeit von A. Nix [1] wurden vor 2 Jahren erste Erfahrungen im Umgang mit dem IRIS Eye Tracker von Skalar Medical gemacht. Der Eye Tracker ist ein Gerät zur Registrierung von Augenbewegungen. Er besteht aus zwei Infrarot-Sensoren, die an einer Kopfmontur befestigt sind und einer Kontrolleinheit zur Steuerung und Aufnahme und Weiterleitung der Daten der Infrarot-Sensoren. Es konnte die Aufnahme der vom Eye Tracker gelieferten Daten mit einem PC realisiert werden. Das hierfür geschriebene Programm A.B.B.E. (Automatisierte Blick-Bewegungs-Erfassung) zeichnet die Koordinaten von Blickbewegungen auf, die über das IRIS-Steuergerät und eine A/D-Wandlerkarte in den Computer eingelesen werden. Dabei zeigt sich immer wieder, dass die vom Eye Tracker gelieferten Daten starke geometrische Verzerrungen aufweisen, so dass das Programm A.B.B.E. zusätzlich eine Entzerrung der Koordinaten vornehmen muss, bevor die Blickbewegungen dann auf dem Bildschirm originalgetreu wiedergegeben werden können.

Messungen mit dem Programm A.B.B.E. und dem Eye Tracker sind nur mit total fixiertem Kopf des Probanden möglich. Weil die Blickbewegungen nur relativ zur Kopfhaltung gemessen werden, darf der Proband während der Messung auf keinen Fall den Kopf bewegen. Die Blickfeldmitte des Probanden muss zu jeder Zeit mit der Mitte des Bildschirms übereinstimmen.

2. Was ist zu tun?

Ziel einer Folge-Diplomarbeit im Studiengang Augenoptik der Fachhochschule Aalen, deren Ergebnisse in diesem Bericht vorgestellt werden, sollte es sein, dass der Proband sich während der Messung frei bewegen kann. Es sollen Messungen in Alltagssituationen möglich werden. Dazu sind insbesondere Modifikationen an der Kopfmontur des Eye Trackers erforderlich. Im einzelnen mussten folgende Aufgaben gelöst werden:

- das Blickfeld des Probanden muss mit einer Kamera aufgenommen werden
- die Blickbewegungen müssen in das Bild der Kamera einblendet werden
- die Kopfmontur muss so stabilisiert werden, dass sie Kopfbewegungen und Mimik des Probanden standhält
- die Position der Sensoren vor den Augen darf sich keinesfalls ändern

Keine dieser Anforderungen waren durch die bisherige Konstruktion erfüllt. So war es zunächst die Aufgabe, die Kopfmontur so umzubauen, dass sie stabil und unbeweglich auf den Kopf des Probanden angebracht werden kann. Dann sollte die Zentriervorrichtung so stabil sein, dass keine Bewegung des Kopfes die Position der Sensoren verschiebt. Ebenfalls durften die Sensoren vor den Augen nicht wackeln. Eine Veränderung der Position der Sensoren vor den Augen führte unter Umständen nicht nur dazu, dass die Blickbewegungen falsch aufgenommen wurden, es kam sogar vor, dass sie gar nicht mehr aufgenommen wurden.

Für die Aufnahme des zentralen Blickfeldes des Probanden sollte eine Videokamera der Kopfmontur montiert werden. Im Bild der Kamera sollten die Blickbewegungen mittels eines bewegten weißen Kreuzes dargestellt werden.

3. Mechanische Änderungen

Um die Stabilität und Justierbarkeit der Kopfmontur zu verbessern, wurden vier Änderungen vorgenommen: ein stabilisierendes Frontblech wurde integriert, ein Nackenriemen hinzugefügt, die Zentriervorrichtungen wurden überarbeitet und eine Inklinationsvorrichtung wurde eingebaut. In der Abbildung 1 ist die überarbeitete Kopfmontur schematisch dargestellt. Die einzelnen Modifikationen sollen nun detailliert vorgestellt werden.

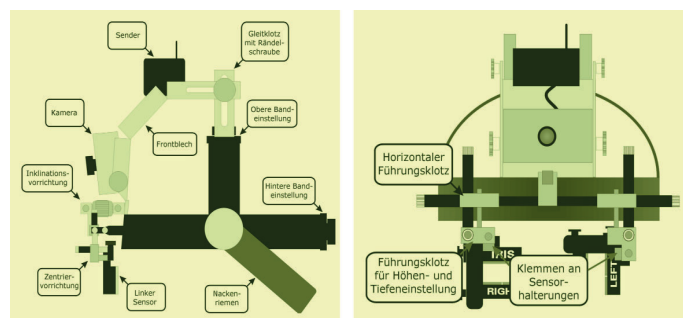


Abbildung 1: Schematische Darstellung der verbesserten Kopfmontur in Seiten- und Frontalansicht

Stabilisierendes Frontblech

Für die Stabilisierung der Kopfmontur wurde eine Verbindung in Form eines Bleches zwischen Stirnband und oberem Band geschaffen. Das bringt zusätzliche Stabilität in die Konstruktion der Kopfmontur. Zugleich schafft eine größere Auflagefläche an der Stirn des Probanden eine bessere Gewichtsverteilung und Stabilität. Das Blech ist an den Seiten rechtwinklig hoch gebogen, um eine Verdrehung des 2 mm starken Aluminiumbleches zu verhindern. Da die Stirn des Probanden meist etwas schräg ist, ist das Blech gebogen. Der obere Teil des Bleches ist waagrecht. Das schafft die Verbindung zur oberen Bänderstellung. Die Auflagefläche ist der Form der Stirn angepasst, sie ist mit einem Radius von circa 80 mm gekrümmt.

Weil eine Einstellung des oberen Bandes noch uneingeschränkt möglich sein sollte, wurde das Frontblech verschiebbar mit der oberen Bänderstellung verbunden. Hierzu wurden zwei Gleitklötze auf die obere Bänderstellung montiert. Diese haben ein Langloch und eine Führung für eine Mutter, die mit einer Rändelschraube die variable Verbindung zum Frontblech schafft. Dadurch ist die Verbindung in der Höhe verschiebbar. Das Frontblech

hat dazu zusätzlich Langlöcher in waagerechter Richtung zur Verbindung mit den Gleitklötzen. Damit ist ein Ausgleich für eine Verkürzung des Abstandes Frontblech zu Gleitklötzen möglich. Zusätzlich kann der Winkel der Auflage an die Stirn den Gegebenheiten angepasst werden. Mit den Rändelschrauben wird die gewünschte Position fixiert.

Das Frontblech ist zusammen mit der Zentriervorrichtung am Kopfband befestigt. Das verschafft der Zentriervorrichtung zusätzliche Stabilität. Die Inklinationvorrichtung ist knapp oberhalb des Stirnbandes mit dem Frontblech verschraubt.

Das Frontblech ist zugleich auch zur Montage der Kamera und des Senders gefertigt. Die Flachbandkabel, die von den Sensoren zu der Eye-Tracker-Kontrolleinheit führen, sind mittels eines Klettverschlusses an den Seiten des Frontbleches befestigt. Sie werden so über den Kopf des Probanden geführt.

Nackenriemen

Als Gegenstück zum oberen Band der Kopfmontur, wurde ein Nackenriemen angebracht. Dieser soll verhindern, dass sich die Montur von selbst nach oben schiebt. Ebenfalls verhindert der Riemen, dass die Montur wackelt. Ein weiterer Vorteil des Riemens ist die bessere Gewichtsverteilung. Durch das Frontblech, die Kamera und den Sender wird die Kopfmontur besonders im Stirnbereich recht schwer. Der Nackenriemen verlagert einen Teil des Gewichtes nach hinten. Der Riemen ist zwischen zwei Aluminiumscheiben geklemmt, die mit zwei Schrauben miteinander verbunden sind. Diese Scheiben sind drehbar an den Seiten des Kopfbandes angebracht. Auf der rechten Seite ist eine dieser Schrauben eine Rändelschraube. Durch Lösen dieser Rändelschraube kann der Riemen zwischen den Scheiben verschoben werden. Der Nackenriemen kann so angezogen oder gelockert werden. Mit dem Festziehen der Rändelschraube wird dann der Nackenriemen wieder fixiert. Das überstehende Ende kann in zwei dafür vorgesehene Schlaufen gesteckt werden. Abbildung 2 zeigt die Einstellung des Nackenriemens.

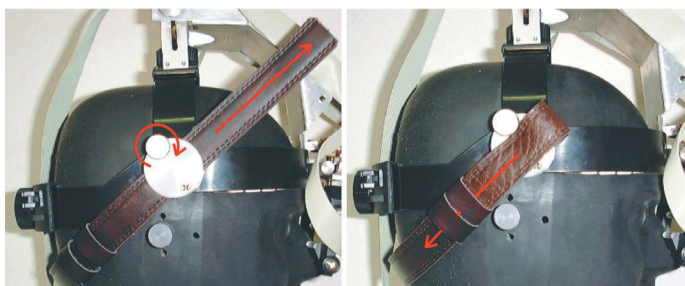


Abbildung 2: Einstellung des Nackenriemens

Zentriervorrichtungen

Mit den Zentriervorrichtungen wird die Inklination, die horizontale (PD, x) und die vertikale Zentrierung (y) sowie der Hornhaut-Sensor-Abstand (HSA, z) eingestellt. Die Führungen dieser Vorrichtungen hatte in allen Richtungen ein Spiel von bis zu 3° Verdrehung. Das machte im schlimmsten Fall am Sensor 3 mm Verschiebung aus. So konnte es sein, dass durch das Verstellen an den Zentriervorrichtungen der Sensor seine Position vor dem Auge unvorhersehbar veränderte. Die Zentrierung der Sensoren wurde somit unnötig erschwert.

Die Zentriervorrichtungen wurde stabilisiert, indem zu den vorhandenen Schienen zur Verstellung der Zentrierung eine zweite

Führung hinzugefügt wurde. Dadurch kann keine Verdrehung mehr auftreten. Für die Lösung dieser Probleme wurde die vorhandene Konstruktion genutzt. Der Stift der vorhandenen Führung ist in einen Vierkant eingeklebt. Zur Stabilisierung wurde ein Führungsklotz gefertigt mit einer Fräsung, die mit wenig Spiel über den Vierkant passt. An einem Ende ist dieser Klotz so gefräst, dass er ohne Spiel über das Verbindungsstück zwischen Horizontal- und Vertikaleinstellung passt. Dadurch ist keine Fixierung durch eine Schraube oder Klebstoff nötig. Die Verdrehung der Horizontalzentrierung um die x-Achse wurde dadurch vollständig eliminiert.

Über das Verbindungsstück zwischen Höhen- und Tiefeneinstellung wurde ein zweiter Messingklotz angepasst. Für eine zweite Führung in y-Richtung ist ein Stift in eine senkrechte Bohrung in diesem Messingklotz eingeklebt. Dieser Stift wird mit wenig Spiel durch ein Loch im horizontalen Führungsklotz geführt. Diese Führung sorgt dafür, dass keinerlei Verdrehung um die y-Achse auftreten kann.

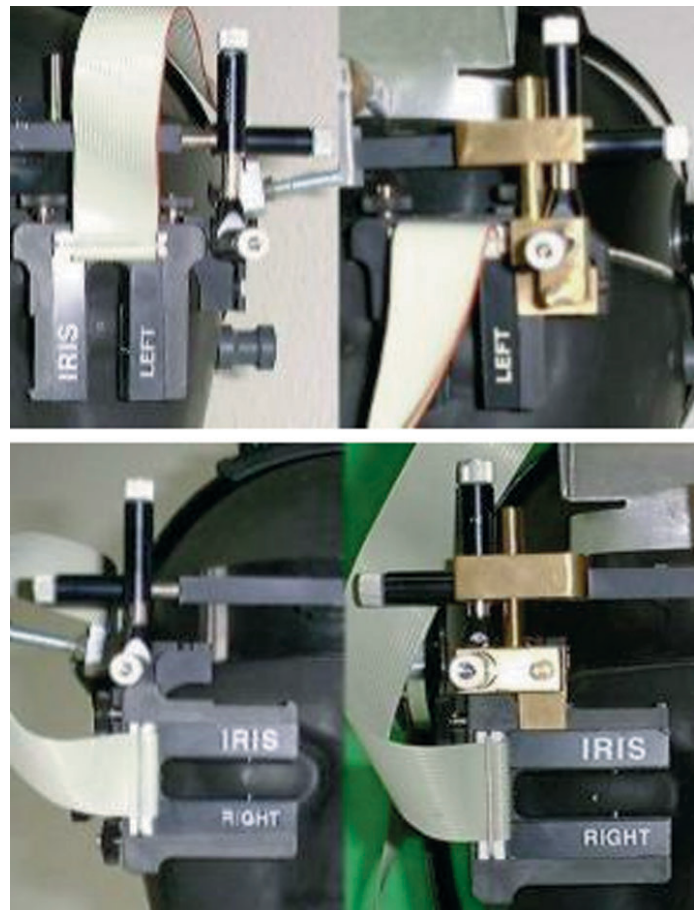


Abbildung 3: Veränderungen an der linken (oben) und rechten Zentriervorrichtung (unten). In der linken Hälfte ist jeweils die Situation vor dem Umbau gezeigt, rechts die modifizierte Vorrichtung

Die Infrarot-Sensoren werden zusätzlich mit einer aus Messing angefertigten Klemme gehalten. Diese ist mit der Halterung verschraubt und sorgt dafür, dass sich die Sensoren nicht lösen können. In diese Klemme ist ein Stift in z-Richtung eingeklebt. Dieser Stift wird mit wenig Spiel durch ein Loch im zweiten Messingklotz geführt. Diese Führung sorgt dafür, dass keine Verdrehung der Sensoren um die z-Achse auftritt. Der zweite

Messingklotz unterscheidet sich auf der linken Seite dadurch, dass die Führung zur Stabilisierung der Tiefeneinstellung sich unterhalb der vorhandenen befindet. Das liegt daran, dass der linke Infrarot-Sensor für die Messung der vertikalen Bewegung des Auges senkrecht angebracht ist.

Mit all diesen Erweiterungen hat jede Einstellung der Position eine zweite Führung erhalten. Die Einstellung während der Kalibrierung und Justage ist damit wesentlich verbessert worden. In Abbildung 3 sind die Veränderungen an den Zentriervorrichtungen gezeigt. Nun ist es möglich, eine Einstellung gezielt zu verstellen um eine bessere Darstellung zu erhalten. Die Zeit, die für Justage und Kalibrierung der Sensoren aufgebracht werden muss, ist damit wesentlich kürzer und die Handhabung der Zentriervorrichtungen viel einfacher.

Inklinationsvorrichtung

Zusätzlich wurden die Zentriervorrichtungen um eine Inklinationsvorrichtung erweitert, mit der eine stufenlose Einstellung der Vorneigung der Sensoren möglich ist. Die Einstellung der Sensoren wurde durch all diese Änderungen sicherer und dauerhafter. Die Vorrichtung besteht aus einem U-Stück, zwei Gewindestiften, einer Klemme und einer Rändelmutter. Die Klemme ist an die Zentriervorrichtungen angebracht und wird durch eine Stiftschraube festgeklemmt. Am oberen Ende der Klemme ist eine Aufnahme für einen der Gewindestifte. Das U-Stück ist am Frontblech befestigt und dient als Aufnahme für den zweiten Gewindestift. Die Gewindestifte verfügen jeweils über eine Bohrung senkrecht zur Symmetrieachse. Durch diese Bohrung werden die Gewindestifte mit einem Stift mit der Aufnahme verbunden. Dieser ist mit Presspassung in die Aufnahme gedrückt. Die Gewindestifte sind jedoch um die y-Achse, senkrecht zu deren Schraubrichtung, drehbar. Einer der Gewindestifte hat ein Linksgewinde der andere ein Rechtsgewinde – beides Feingewinde. Die Rändelmutter hat zu einer Hälfte ein Rechtsgewinde zur anderen Hälfte ein Linksgewinde. Fertig montiert wird so durch Drehen der Rändelmutter der Abstand zwischen Frontblech und Klemme verändert, wodurch sich die Zentriervorrichtung vorneigt. Die Abbildung 4 zeigt die Wirkungsweise der Inklinationsvorrichtung.

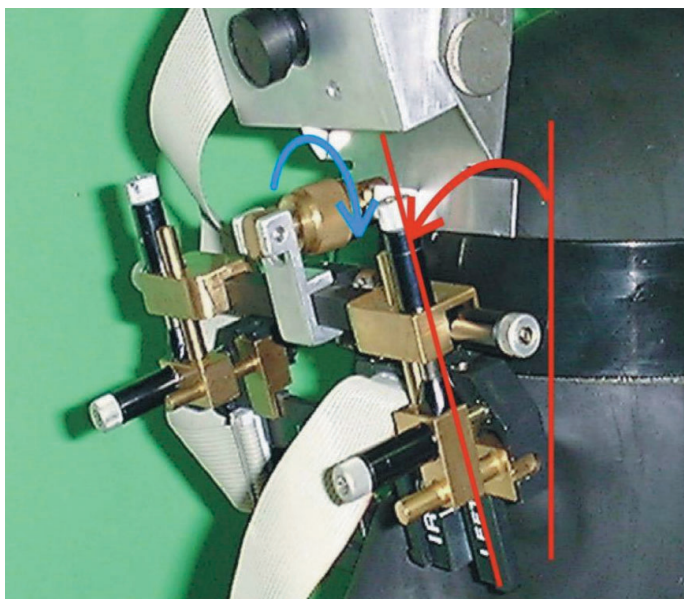


Abbildung 4: Inklinationsvorrichtung

4. Videokamera

Damit sich der Proband bei den Messungen mit dem mobilen Eye Tracker unabhängig von Verbindungskabeln bewegen kann, besitzt die Kontrolleinheit einen Akku. Auch die an der Kopfmontur anzubringende Videokamera sollte ohne Kabelverbindungen arbeiten. Dazu wird auch die Kamera aus einem Akku versorgt. Das Videobild wird über eine drahtlose Verbindung auf den Monitor übertragen. Dazu muss auf der Kopfmontur neben der Kamera auch ein Sender angebracht werden.

Das Frontblech wurde bereits so gefertigt, dass die Kamera und der Sender darauf befestigt werden können. Kamera und Sender sind über drei Kabel miteinander verbunden, zwei für die Stromversorgung und eins für die Videoübertragung. Über eine Steckverbindung kann dieses Kabel mit dem Sender verbunden werden. Das Kameragehäuse wird mit zwei Rändelschrauben mit dem Frontblech verbunden. Dadurch ist die Verbindung leicht lösbar und die Kamera kann in die erforderliche Position geneigt werden.

Die Kamera ist mit einem Teleobjektiv ausgestattet. Damit deckt sich das aufgenommene Bild mit dem zentralen Blickfeld des Probanden. Für erste Versuche wurde eine s/w-Kamera eingesetzt.

Abbildung 5 zeigt die modifizierte Kopfmontur bei den ersten Messungen. Deutlich sichtbar im rechten Teil sind die Kamera mit Sender und die verbesserten Zentriervorrichtungen.

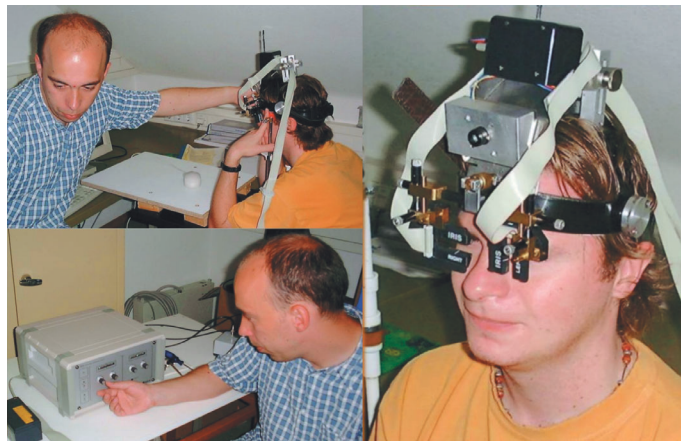


Abbildung 5: Die modifizierte Kopfmontur im Einsatz

5. Software-Anpassungen

Das in der Arbeit von Nix entwickelte Datenerfassungsprogramm A.B.B.E. wurde modifiziert. Dabei wurden folgende Punkte überarbeitet:

- Die Erfassung der Kalibrierpunkte wurde verbessert.
- Der Algorithmus zur Entzerrung der Sensordaten wurde überarbeitet, so dass sich nunmehr auch bei nicht optimaler Justierung der Sensoren brauchbare Daten gewinnen lassen. Bei hinreichend guter Justierung sind die vom Eye Tracker gelieferten Daten zumeist Parallelogrammförmig verzerrt. Während der Kalibrierung des Programms betrachtet der Proband nacheinander die Ecken, die Seitenmitten und den Mittelpunkt eines Rechtecks auf dem Bildschirm. In allen 9 Kalibrierpunkten nimmt das Programm dabei die übermittelten Koordinaten auf – diese Werte werden dann zur Korrektur der Verzerrung herangezogen. Da es

vorkommen kann, dass die Verzerrung in den vier Quadranten unterschiedlich ist, wird jeder Quadrant separat korrigiert. Die Entzerrung entspricht einer Koordinatentransformation aus einem schiefwinkligen Koordinatensystem in ein Orthogonalsystem und erfolgt mit Hilfe trigonometrischer Funktionen. Abbildung 6 zeigt die aufgezeichneten Blickbewegungen nach Entzerrung bei Fixation der Eckpunkte eines Rechtecks.

- Für erste Tests zur Videoüberlagerung wurde ein Darstellungsmodus geschaffen, der die aktuelle Blickrichtung als weißes Kreuz auf schwarzem Grund darstellt.

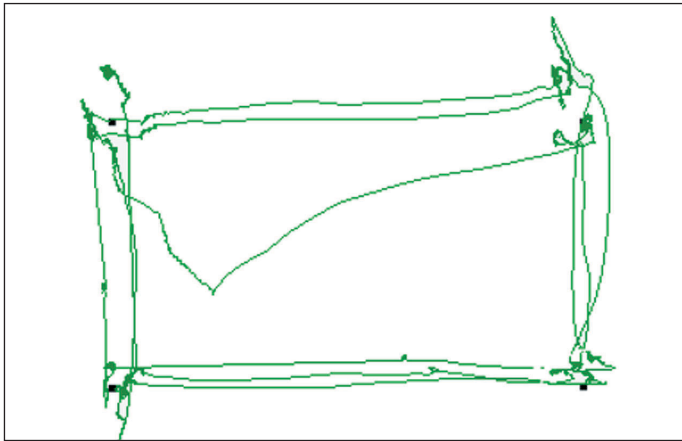


Abbildung 6: Blickbewegungen nach Entzerrung bei Fixation der Eckpunkte eines Rechtecks

6. Generalprobe

Um die erreichte Stabilität der überarbeiteten Kopfmontur und die Brauchbarkeit der modifizierten Software beurteilen zu können, wurde abschließend ein Test durchgeführt, bei dem die vom Computer korrigierten Blickrichtungskoordinaten als weißes Kreuz dem Bild der Videokamera überlagert werden sollten. Hierzu wurde der neue Darstellungsmodus der A.B.B.E.-Software (weißes Kreuz auf schwarzem Hintergrund) eingesetzt. Das auf dem Computermonitor dargestellte Bild wurde mit einer Videokamera aufgenommen und mit Hilfe eines Videomischpultes dem Bild der an der Kopfmontur befestigten Kamera überlagert. Damit beide Kameras synchron arbeiten können, war der Einsatz eines Time Base Correctors erforderlich. Abbildung 7 zeigt die erforderliche Ausrüstung, ein Schema der Zusammenschaltung aller Komponenten ist in Abbildung 8 gezeigt.



Abbildung 7: Die Videoausrüstung (von links nach rechts und von oben nach unten): Empfänger für die Helmkamera, Monitor zur Darstellung des überlagerten Bildes, Videorecorder, Videomischpult, Time Base Corrector zur Synchronisation, Kamera mit Stativ

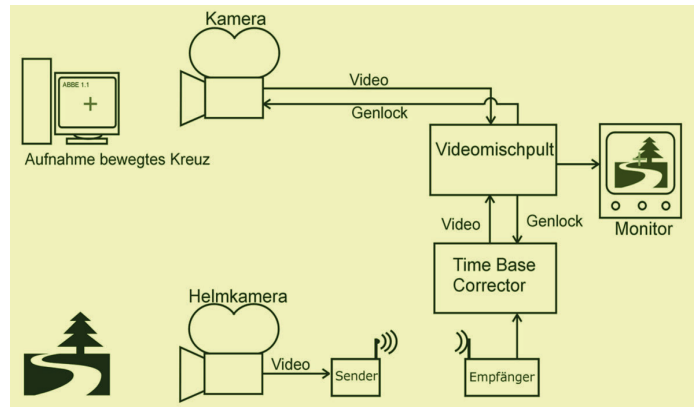


Abbildung 8: Schematisches Schaltbild der Zusammenschaltung aller zur Videomischung erforderlichen Komponenten

Die beiden Kameras müssen natürlich zueinander justiert werden. Zusätzlich zur Ausrichtung der optischen Achse ist insbesondere die Brennweite der Kamera, die den Computermonitor aufnimmt, per Zoomobjektiv anzupassen. Zu diesem Zweck wurde eine Testtafel geschaffen, die neun Fixationspunkte enthält. Bei guter Einstellung der Kameras und guter Justierung der Sensoren des Eye Trackers sind dabei die in der Abbildung 9 gezeigten Ergebnisse erzielbar. Wie man erkennt, sind die eingblendeten weißen Markierungen in unmittelbarer Nachbarschaft der fixierten schwarzen Markierungen der Testtafel.

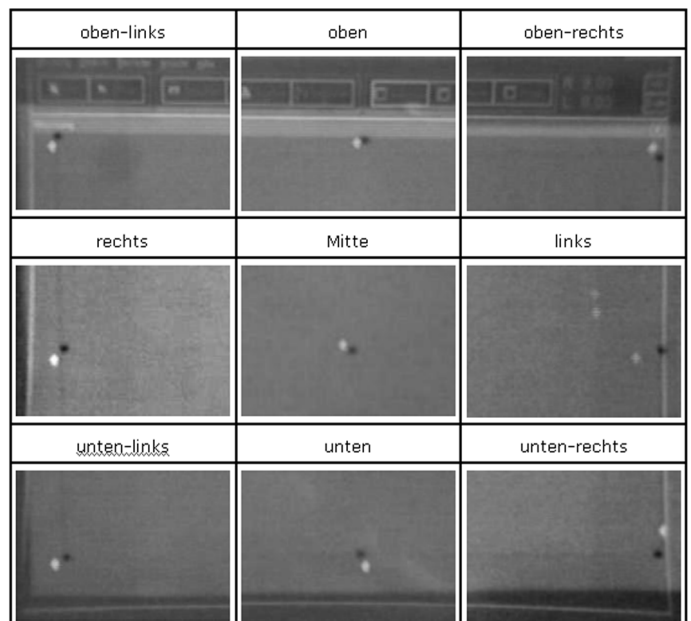


Abbildung 9: Eingblendete Blickrichtung an den neun Fixationspunkten der Testtafel

In einem ersten Test konnte der Proband frei im Messraum umhergehen und verschiedene Objekte fixieren. Von diesem Versuch wurde ein Videofilm aufgezeichnet, der das Bild der an der Kopfmontur befestigten Kamera mit eingblendeter weißer Markierung zeigt. In Abbildung 10 ist eine Szene aus diesem Film wiedergegeben. Der Proband betrachtet die Einstellregler des Monitors der Videoausrüstung und seine Blickrichtung wird in dem Videobild durch die Markierung an ungefähr der richtigen Position angezeigt.

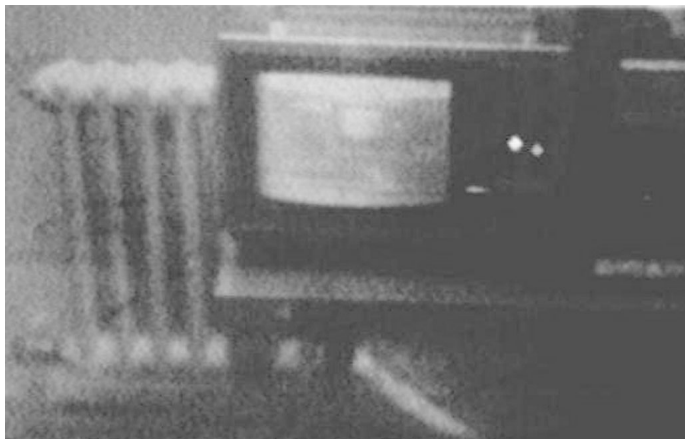


Abbildung 10: Der Proband fixiert die Einstellregler des Monitors – aufgezeichnetes Bild der Helmkamera mit eingeblendeter Markierung, die die Blickrichtung anzeigt

7. Zusammenfassung und Ausblick

Mit den Umbauten sitzt die Kopfmontur wesentlich fester auf dem Kopf des Probanden als in der ursprünglichen Version. Die veränderte Montur lässt nur noch wenig Spielraum für Bewegung auf dem Kopf. Der Proband muss allerdings während der Kalibrierung und der Messung weitgehend auf Mimik verzichten. Dadurch, dass der Riemen um den Nacken gelegt ist, kann der Proband bei der Messung normal sprechen. Starke ruckartige Kopfbewegungen sind natürlich zu vermeiden. Unter all diesen Voraussetzungen wurde während der Messungen keine nennenswerte Veränderung der Position der Sensoren vor den Augen des Probanden beobachtet.

Seit der Neuprogrammierung der Kalibrierung und der Berechnung der Bildschirmkoordinaten stimmt der dargestellte Punkt mit der Fixation der Augen des Probanden besser überein. Die Restabweichungen zwischen berechneter und wahrer Position betragen maximal 30 Pixel am Bildfeldrand.

Mit dem Test der Einblendung des bewegten weißen Kreuzes in das Bild der Helmkamera zeigte sich, dass eine stabile Darstellung der Blickbewegungen mit dem Eye Tracker möglich ist.

Eine größere Fehlerquelle, die die Beurteilung des aufgenommenen Videos beeinflusst, ist die Kalibrierung der Kameras zueinander. Bei der für die Zukunft geplanten Einblendung der Markierung mit einem Videotext-Chip ist diese Fehlerquelle ausgeschlossen.

Die Messungen mit Videoüberlagerung eignen sich aktuell zur Beobachtung der Fixation bei alltäglichen Sehaufgaben. Für Beurteilung der Fixation bei schwierigen Sehaufgaben, bei denen besonders kleine Blickwinkel vorkommen, ist diese Methode nicht geeignet. Das liegt zum einen daran, dass die Justage der Sensoren dabei besonders genau sein muss, zum anderen daran, dass die Auflösung des Bildschirms und der Videokamera begrenzt ist.

Mit der neuen Korrektur der Entzerrung der Daten des Eye Trackers und den Umbauten steht dem mobilen Einsatz des Eye Trackers nichts mehr im Wege. In einer folgenden Diplomarbeit wird es darum gehen, die derzeit noch zu komplizierte Videoüberlagerung zu vereinfachen. Hierzu soll eine kleine Elektronikbaugruppe eingesetzt werden, die die Überlagerung eines Cursorsymbols mit dem Bild der an der Kopfmontur angebrachten Kamera mit Hilfe von Videotext-Bausteinen vornimmt. Diese Elektronikbaugruppe soll die Entzerrung, die bisher durch das Programm A.B.B.E. auf dem Computer durchgeführt wird, mit einem Mikrocontroller ausführen. Damit wird die gesamte Einheit völlig ortsunabhängig, auf Computer und Videoausrüstung kann verzichtet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Andreas Nix, ABBE – Den Augenblick im Überblick, Diplomarbeit an der Fachhochschule Aalen im Studiengang Augenoptik, 1999



