

2. Datenaufbereitung

2.1 Datenerfassung

Wie im Kapitel 1.1 (Abschnitt II) beschrieben, wurden Pupillendaten mit einer speziellen Infrarotkamera abgenommen. Das Videobild wird dabei an die Videokarte eines entsprechenden Computers übertragen, der dann die Pupillengröße anhand der Pixel des aufgezeichneten Bildes horizontal und vertikal vermisst. Die Nutzung eines PAL normierten Systems hat zur Folge, dass alle 20 ms ein Messwert produziert und gespeichert wird. Die Datensätze werden in Textdateien abgelegt, die im Verlauf der Untersuchungen in ihrer Größe von 29 KB (1.250 Messwerte) bis zu 2,5 MB (60.100 Messwerte) variierten.

Aufgrund der Kameraanordnung unter dem Monitor sind lediglich die horizontalen Messwerte zur weiteren Auswertung geeignet, da diese in ihrer Güte den vertikalen Messwerten überlegen sind. Dies liegt an dem Umstand, dass die Pupille aus dem von schräg unten aufgezeichneten Bild oftmals durch die Wimpern zu einem Teil verdeckt wurde.

2.2 Datenaufbereitung durch Harmonisierung

Durch die technischen Rahmenbedingungen bei dem verwendeten Verfahren zur Pupillenerfassung mittels der in Kapitel 1.1 (Abschnitt II) beschriebenen Messtechnik besteht ein wesentlicher Mangel darin, dass die erhobenen Daten keine einheitliche Baseline aufweisen. Die

Anfangsgröße der gemessenen Pupille variierte bereits durch die unterschiedlichen Abstände der Probanden zur Kamera. Je näher sich der Proband an der Kamera befand, desto größer wurde seine Pupille bei der Aufzeichnung der Messapparatur dargestellt. Auch die Einstellung von Teleobjektiv und Weitwinkelobjektiv der Kamera beeinflusste die Messgröße.

Um dennoch quantitative Aussagen machen zu können, ist es möglich, die Daten über Mittelwerte zu aggregieren und somit zu relevanten Aussagen zu kommen. Der große Nachteil in diesem Vorgehen besteht in der Ausblendung der Varianzen der Messung von Einzelpersonen. Die Güte von Aussagen aus Ergebnissen aggregierter Daten ist beschränkt. Für einige der folgenden Berechnungen ist es aber besonders wichtig, sowohl die komplette Qualität des Datensatzes zu erhalten als auch aussagekräftige statistische Verfahren anwenden zu können.

Es ist also in einigen Fällen notwendig vor der Datenanalyse ein Verfahren anzuwenden, das einerseits die Qualität der erhobenen Daten nicht beeinträchtigt, und andererseits Aussagen über die Gesamtheit der Stichprobe zulässt, mit denen dann auf die Parameter der Population geschlossen werden kann. Um die Validität der Ergebnisse zu erhöhen, muss also das Problem der fehlenden Baseline in der Datenbasis durch die Umrechnung der Rohdaten behoben werden. Weder die Standardisierung über die Z-Transformation ($z = (x - M) / SD$) noch über die Datennormalisierung ($x_n = x - M$) kommen hierzu in Betracht, da diese beiden bekannten Verfahren der Datenstandardisierung jeweils einen künstlichen Nullpunkt auf dem Mittelwert erzeugen. Es ergibt sich also durch die Umformung der Daten keine künstliche Baseline. Die Berechnung dieser künstlichen Baseline ist durch ein Verfahren zu realisieren, welches einen Nullpunkt auf dem kleinsten Wert setzt und trotzdem die Datenskala nicht beeinträchtigt. Dieses Verfahren nenne ich im weiteren Verlauf *Harmonisierung der Messdaten*. Hierfür sind zuerst einige Überlegungen zu der Messskala angebracht.

Könnte die Pupillengröße in Millimetern bestimmt werden, so hätte man eine Verhältnisskala und könnte die gewonnenen Daten durch die Verhältnisskalierung gut berechnen. Durch das hier angewandte Messverfahren ist es aber nicht möglich, die Pupillen in Millimetern auszumessen. Die Pupillengröße wird auf einem Videobild der Eye-Tracking Kamera vermessen, welche nicht in der Lage ist, die Entfernung zur Pupille als Variable aufzunehmen, d. h. es ist nicht möglich, die gemessenen Werte der Videoaufzeichnung in Millimeter umzurechnen. Aufgrund dieses Mangels in der verwendeten Messtechnik entsprechen die gewonnenen Daten lediglich der Intervallskalierung. Da der Nullpunkt einer Intervallskala willkürlich gesetzt werden kann (Diehl & Kohr, 2004) und die Differenzen zwischen den zugeordneten Zahlen gleich sind, ist es möglich, die zugeordneten Werte umzurechnen ohne die Skalenqualität dadurch zu beeinträchtigen.

Da im vorliegenden Fall nicht die absolute Größe der Pupille von Interesse war, sondern lediglich die Veränderung der Pupillengröße nach der Stimulusrezeption, wurde zur Harmonisierung der Datenbasis ein künstlicher Nullpunkt eingeführt. Hierzu wurde pro Messung der niedrigste Messwert ausgewählt und als Nullpunkt definiert, d. h. vom Messwert wurde der kleinste Messwert abgezogen. Der kleinste Messwert nahm demzufolge den Wert Null an. Der abgezogene Wert wurde nun auch von allen anderen Messwerten abgezogen. Die verbleibenden Werte spiegeln somit die relative Veränderung der Pupillengröße wider. Nach Anwendung dieses Verfahrens war eine Baseline bei dem Wert Null gegeben und die Abstände zwischen den weiteren Werten blieben unverändert, auch wenn sich die absoluten Zahlen veränderten.

Formel 1: Datenharmonisierung: $x_{\text{harm}} = x - x_{\text{min}}$

Angemerkt sei hier allerdings, dass der Messfehler, der durch die unterschiedlichen Abstände der Versuchspersonen zu der Messkamera auftritt, sich auch in diesen Werten widerspiegelt. Dieser Fehler wird durch die Messabweichung des Winkels α determiniert, welcher 0,096 Grad beträgt. Dieser Wert wird aus der mittleren Größe einer Pupille von 5 Millimetern und der Entfernung zur Messkamera von 50 – 60 Zentimetern errechnet. Bei 50 Zentimetern beträgt der Winkel von der Kamera zur Pupille $\alpha=0,573$ Grad und bei 60 Zentimetern $\alpha=0,447$ Grad. Die Differenz dieser beiden Winkel ergibt den mittleren Fehlerwert von 0,096 Grad. Die Abweichung durch diese Veränderung des Probandenabstandes zur Messkamera würde in diesem Fall also einen Millimeter betragen.

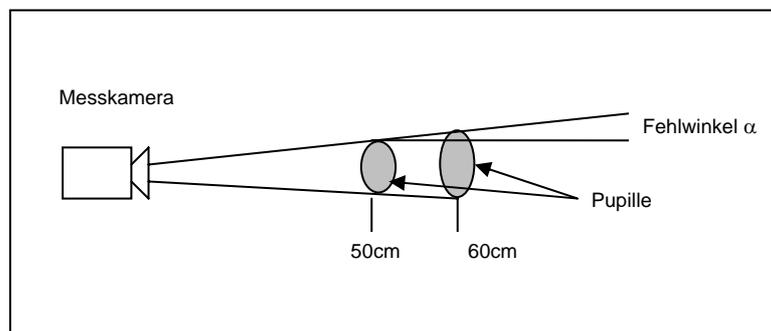


Abbildung 10: Entstehung des Fehlwinkels durch die Veränderung der Entfernung von Proband und Kamera

Bei Weiterentwicklungen der Messtechnik sollte gerade die Entfernung des Probanden zur Messtechnik (x) als Variable erfasst werden, um somit bereits bei der Messung der Daten ein höheres Skalenniveau (Verhältnisskala) sicher zu stellen. Im Fall eine Pupillengröße von 4 Millimetern ergibt sich eine lineare Abnahme der gemessenen Pupillengröße über die Entfernung von 50 – 80 cm von:

$$\text{Formel 2: } Y = 97,33 + (-0,79 \times x)$$

Durch die Verwendung der harmonisierten Daten ist es nun möglich, statistische Verfahren anzuwenden, die im Gegensatz zu den Einzelauswertungen (wie z. B. den einfaktoriellen Varianzanalysen, die im Anhang beigefügt sind) eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Versuchspersonen erlauben, ohne dabei jedoch die Varianz zu löschen. Dieses Vorgehen bringt die entscheidende Qualitätsverbesserung in der Datenanalyse (Schmitz, 1989; Suckfüll, 2004).

2.3 Datenaufbereitung durch Standardisierung

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben wurde, ist die Datenharmonisierung ein geeignetes Verfahren, um die Qualität der abgenommenen Messdaten zu verbessern. Benötigt man die Datenanalyse erst nach dem Abschluss einer Messung, schient dieses Verfahren völlig ausreichend und geeignet.

Das eigentliche Ziel dieser Arbeit ist es aber, die Grundlagen für eine Prozesssteuerung aufgrund von Pupillometriedaten zu untersuchen. Es soll also die Frage geklärt werden, ob sich Pupillometriedaten zur Steuerung intelligenter User-Interfaces eignen. Insofern ist das Verfahren der Harmonisierung nicht ausreichend, da es voraussetzt, dass der Minimalwert vor der Analyse bekannt ist. Wie einige der folgenden Experimente zeigen werden, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die gemessene Pupillengröße bei weißem und schwarzem Monitor die jeweils kleinsten und größten Pupillendurchmesser repräsentieren. Durch psychische Vorgänge kam es im Laufe der Experimente in den meisten Fällen zu einer deutlichen Vergrößerung und Verkleinerung des Pupillendurchmessers über die lichtbedingten Maximal- und Minimalwerte hinaus.

Um die gemessenen Pupillendurchmesser für einen automatisierten Prozess nutzbar zu machen, muss eine Vergleichbarkeit der Messdaten - über die Qualität der Rohdaten hinaus - geschaffen werden. Hierzu eignet sich das Verfahren der Standardisierung, welches in Anlehnung an Lykken (1972, zitiert nach Bösel 1987, S. 100) an die hier gegebenen Erfordernisse angepasst wurde. Voraussetzung zur Anwendung dieses Verfahrens ist die Messung des Pupillendurchmessers bei weißem und schwarzem Monitor, um zwei Eichpunkte zu erhalten. Die daraufhin gemessenen Werte werden durch folgende Formel standardisiert:

$$\text{Formel 3: } y_{std} = \frac{x - x_{weiss}}{x_{schwarz} - x_{weiss}}$$

Im Fall von nicht-psychisch bedingten Pupillenbewegungen ist der standardisierte Messwert also auf eine Variationsbreite (range) von Null bis Eins festgelegt. Psychische Vorgänge können den Wert jedoch auch leicht unter Null und über Eins bringen. Diese Ausprägungen können als Indikator parasymphatischer oder sympathischer Nervenaktivität interpretiert werden.

Die zwei großen Vorteile dieses Verfahrens gehen darauf zurück, dass einerseits alle erforderlichen Parameter vor Beginn einer Messung erhoben werden können, und dass andererseits die standardisierten Werte nicht nur eine Evaluation von Einzelpersonen zulassen, sondern auch den Vergleich von Personen ermöglichen. Um eine weitere Verbesserung der Daten zu erreichen, ist es darüber hinaus notwendig, die Daten von auftretenden Artefakten zu bereinigen. Auftretende Fehlmessungen können jedoch nur eliminiert werden, sofern sie identifizierbar sind. Um solche Artefakte in der Messung zu identifizieren, wurde das Experiment 1 (die Nummerierung der Experimente entspricht nicht der Reihenfolge ihrer Durchführung) durch-

geführt. Aufgrund der Ergebnisse dieses Experiments konnte ein Verfahren entwickelt werden, mit dem die Artefakte automatisch erkannt und eliminiert werden können. Dieses Experiment 1 wird im folgenden Kapitel dargestellt.

3. Experimente

3.1 Experiment 1: Versuch zur Identifizierung von Artefakten

Zur Entwicklung eines Verfahrens für die Verbesserung der Datenbasis war eine sorgfältige Analyse dieser Datenbasis notwendig. Um Artefakte aus den Rohdaten ausschließen zu können, mussten diese zuerst identifiziert werden. Bei der Vermessung der Pupille mit der Infrarotkamera RED II wird der dunkelste Punkt des aufgezeichneten Bildes als Pupille definiert und vermessen. Wird das Auge bei einem Lidschlag geschlossen, so ist die Pupille für die Kamera nicht mehr sichtbar, da sie vom Augenlid verdeckt wird. In diesem Moment können zwei verschiedene Messfehler entstehen. Bei Personen mit dunklen Wimpern oder mit geschminkten Wimpern formen diese sich beim geschlossenen Auge zu einer Linie, die der Färbung der Pupille entspricht. Da die Messung auf der horizontalen Ausdehnung der Pupille basiert, wird der gemessene Wert sehr hoch und verzerrt den Mittelwert nach oben. Der umgekehrte Fall tritt bei Personen ein, die sehr helle Wimpern haben. Wenn diese Personen die Augen schließen, gibt es keine dunkle Stelle in der Augenaufzeichnung, die unter dem eingestellten Schwellwert liegt. Der Messwert wird sich also Null annähern und der Mittelwert wird in diesem Fall nach unten verzerrt. Da keine anderen Fälle auftreten können, erfolgt eine Verzerrung des Mittelwerts bei einer einzelnen Person immer in eine bestimmte Richtung.