

Judith Masseida, Franziska Perske und Wolfgang Jaschinski
IfADO - Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund

Messmethoden und Eigenschaften der physiologisch günstigen Blickneigung

Schlüsselwörter

Augenneigung, Kopfneigung, Bildschirmpositionierung

Zusammenfassung

Experiment 1 vergleicht verschiedene Indikatoren der physiologisch günstigen Blickneigung bei individuell komfortabler Kopfneigung: beim Blick auf Sehzeichen wird die Blickneigung minimaler Anstrengung (a) und die bevorzugte Blickneigung (b) bestimmt; weiterhin wird die Ruheblickneigung in Dunkelheit mit einem Eye-tracker gemessen (c) und die komfortable Blickneigung mit einem Schnelltest (d) erfasst: dabei bringt man die Augen in eine bequeme vertikale Position und gibt beim Öffnen der Augen ein spontan fixiertes Zeichen auf einer vertikalen Skala an. Alle Indikatoren waren korreliert und ergaben individuelle Unterschiede. Eine Anpassung des Schnelltest-Ergebnisses um 5° nach unten kommt den Befunden mit Sehreizen nahe.

Experiment 2 zeigt, dass die komfortable Blickneigung bei Variation der Kopfneigung nahezu konstant relativ zum Kopf bleibt, während eine Literaturübersicht von Verfahren mit visuellen Reizen eine zunehmende Absenkung der günstigen kopfbezogenen Blickneigung ergibt, je weiter der Kopf nach unten geneigt ist.

Praktische Relevanz

Der Schnelltest der komfortablen Blickneigung wird für die Praxiserprobung vorgeschlagen, um individuelle Präferenzen bei der Höhenpositionierung von Monitoren bei Computerarbeit abzuschätzen und so Beschwerden zu reduzieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass beim Blick auf Sehobjekte – insbesondere in der Nähe – tendenziell niedrigere Blickneigungen und Bildschirmpositionen bevorzugt werden, als mit den beschriebenen Schnelltests für die komfortable Kopf- und Blickneigung gefunden werden.

Conditions of the physiologically favorable gaze inclination

Keywords

Eye inclination, head inclination, monitor position

Summary

In Experiment 1, four indicators of favorable gaze inclination were compared at individually comfortable head inclination: in method (a) gaze inclination of minimal strain was found with a visual target at fixed gaze inclinations: subjects estimated their subjective strain; in method (b) a target was moved from above and from below to a point where subjects indicated comfortable vision: the average gave the preferred gaze inclination; method (c) measured resting gaze inclination in darkness with an eye tracker, and in a quick test (d) subjects moved their closed eyes vertically to find the comfortable gaze inclination: when opening the eyes, they indicated the perceived target on a vertical scale. All tests were correlated and showed individual differences. Mean gaze inclination tested with visual cues (a and b) was at -14° below horizontal, which was lower than the level of -9° without visual cues (c and d). In Experiment 2, the quick test was used at different head inclinations: comfortable gaze inclination relative to eye-ear-line was constant near -30° despite varying head inclination, while previous studies using visual cues found that favorable gaze inclination relative to the head shifted downward the more the head was declined.

Practical Relevance

The quick test may be evaluated at workplaces for an estimation of the individually favorable position of computer screens to reduce strain, taking into account that the comfortable gaze inclination with visual cues and also the preferred screen position tends to be lower than found with the quick tests, particularly in near vision.

1 Einleitung: Die günstige Blickneigung am Bildschirmarbeitsplatz

Die Frage nach der optimalen Höhenposition des Bildschirms ist heute wieder aktuell. Röhrenmonitore sind mittlerweile überwiegend durch Flachbildschirme ersetzt worden, die flexibel aufstellbar sind, insbesondere in Verbindung mit Schwenkarmen. Somit erlauben es diese Technologien, die Bildschirmhöhe nach den physiologischen Kriterien der Nutzer einzurichten und nicht nach der baulichen Größe der Monitore.

Jedoch gibt es keine spezifischen Empfehlungen dafür, in welcher Höhe der Bildschirm relativ zum Auge aufgestellt werden sollte. Die EU-Richtlinie für Bildschirmarbeitsplätze enthält keine konkreten Angaben (BildscharbV 1996). Die Gesetzliche Unfallversicherung gibt in der BGI 650 (2012) eine Referenzblickneigung von -35° an, relativ zur der Augenbewegungen nach oben und unten ausgeführt werden können. Eine wissenschaftliche Quelle für die Referenzblickneigung von -35° wird dafür jedoch nicht genannt; da diese Empfehlung der Gesetzlichen Unfallversicherung bereits in der ZH1/618 (1980) enthalten ist, geht sie möglicherweise zurück auf Untersuchungen von Lehmann & Stier (1961): bei feinmechanische Arbeiten im Sitzen mit leicht vorgeneigtem Oberkörper - ohne einen Bildschirm - ergab sich eine „normale“ Blickneigung von $-38 \pm 6,3^\circ$. Häufig gilt der Rat, dass sich die oberste Zeile auf dem Bildschirm nicht oberhalb der Augen befinden sollte, was bei einem Sehabstand von 70 cm typischerweise zu einer Abwärtsblickneigung zur Bildschirmmitte von nur etwa -15° führt. Es bestehen also Unklarheiten bezüglich der optimalen Bildschirmposition, da ein großer Bereich von -15° bis -35° empfohlen wird.

Die vertikale Position des Bildschirms hat einerseits einen Einfluss auf den Neigungswinkel des Kopfes zum Rumpf, zum anderen auch auf die Neigung der

Augen in Relation zum Kopf. Um verschiedene Punkte im Raum oder auf dem Bildschirm zu fixieren, können Änderungen der Blickrichtung entweder durch Augenbewegungen relativ zum Kopf vollzogen werden, oder durch Kopfbewegungen relativ zum Rumpf. Meist werden Augen- und Kopfbewegungen überlagert.

Zur Messung der Kopfneigung werden anatomische Bezugslinien wie die Auge-Ohr-Linie, die Reid's line oder die Frankfurter Linie relativ zur Horizontalen verwendet (vgl. Bild 1). Die Blickneigung, d. h. die vertikale Blickrichtung, kann nun entweder auf eine dieser Kopfbezugslinien bezogen werden oder auf die Horizontale. Vertikale Augenbewegungen erfolgen um eine horizontale Achse durch die mechanischen Augendrehpunkte. Ein gut sichtbarer Bezugspunkt am Kopf ist beispielsweise der äußere Augenwinkel (Kanthus), der sich – bei seitlicher Ansicht auf die Versuchsperson – in der Nähe des Augendrehpunktes befindet. Bild 1 zeigt, wie aus der Kombination der Kopfneigung relativ zur Horizontalen und der Augenneigung relativ zum Kopf (Auge-Ohr-Linie) die Blickneigung relativ zur Horizontalen resultiert.

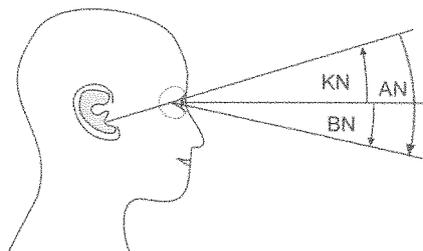
Eine Studie von Masseida et al. (2013) beschreibt die Eigenschaften der günstigen Kopfneigung. Eine solche individuell günstige Kopfneigung wird in Experiment 1 der vorliegenden Studie vorausgesetzt, bzw. im Laborexperiment eingestellt und auf dieser Basis die günstige Blickneigung ermittelt, die sich daraus ergibt, dass die vertikale Stellung der Augen relativ zum Kopf optimiert wird. Werden die Augen bei fester Kopfhaltung deutlich nach oben oder unten bewegt, so kann spontan die resultierende Beanspruchung der Augenmuskulatur bemerkt werden. Zwischen den Extrempositionen wird es vermutlich eine vertikale Augenposition geben, die angenehm empfunden wird. Wir bezeichnen diese Stellung als günstige Augenneigung relativ zum Kopf. Liegt gleichzeitig eine günstige Kopfneigung vor, so resultiert die günstige Blickneigung.

Zur günstigen Blickneigung wurden schon viele umfangreiche Studien durchgeführt (vgl. Literaturübersichten Tabelle 1 und Tabelle 2). Der Begriff „günstige“ Blickneigung wird als Oberbegriff für Messergebnisse verschiedener Messparadigmen der Literatur verwendet. Es finden sich hierbei Studien, bei denen der Kopf in einer bestimmten, festen Position eingestellt wurde (Hill & Kroemer 1986, Kroemer & Hill 1986, Menozzi et al. 1994, Mon Williams 1999, von Buol 2002) und solche, bei denen der Kopf frei beweglich war und in der individuell günstigen Neigung gehalten wurde (Burgess-Limerick 1998, Delleman 1999; Grandjean 1993; Heuer et al. 1991; Jaschinski 2008). Andere Studien verglichen Blickneigungen bei unterschiedlichen Kopfneigungen, wobei der Kopf auch hier frei beweglich war. Dabei wurden die Sehaufgaben in verschiedenen Höhen und Neigungen präsentiert (Burgess Limerick et al. 1998, Conrady et al. 1987, Sommerich et al. 2001).

Die Literatur-Zusammenfassung (vgl. Tabelle 1 und 2) zeigt günstige Blickneigungen in einem großen Variationsbereich. Diese Diskrepanzen könnten auf verschiedenen Messverfahren und/oder Unterschieden zwischen Probandenkollektiven beruhen. Wiederholungsmessungen zur Prüfung der Reliabilität dieser Maße wurden kaum durchgeführt. Daher gibt es auch diverse Empfehlungen zur günstigen Blickneigung, die im Bereich von -3° bis -34° (relativ zur Horizontalen) liegen. Aus diesem Grund war es das Ziel von Experiment 1, diese Unterschiede zu klären und dazu eigene Experimente durchzuführen. Hierzu sollten in der Literatur bereits beschriebene Verfahren, sowie neue Messverfahren direkt miteinander verglichen werden; dabei wurde jeweils eine konstante individuell günstige Kopfneigung eingestellt.

Es ist das Ziel von Experiment 1 dieser Studie, die günstige Blickneigung durch vier verschiedene Messverfahren zu operationalisieren. Die vier resultierenden Indikatoren der günstigen Blickneigung werden aufgrund der jeweiligen Messmethodik bezeichnet als (a) Blickneigung minimaler Anstrengung, (b) bevorzugte Blickneigung, (c) objektive Ruheblickneigung und (d) komfortable Blickneigung (Einzelheiten

Es ist das Ziel von Experiment 1 dieser Studie, die günstige Blickneigung durch vier verschiedene Messverfahren zu operationalisieren. Die vier resultierenden Indikatoren der günstigen Blickneigung werden aufgrund der jeweiligen Messmethodik bezeichnet als (a) Blickneigung minimaler Anstrengung, (b) bevorzugte Blickneigung, (c) objektive Ruheblickneigung und (d) komfortable Blickneigung (Einzelheiten



AN = Augenneigung

BN = Blickneigung

KN = Kopfneigung: Auge-Ohr-Linie

Bild 1: Schematische Darstellung verschiedener anthropometrischer Bezugslinien am Kopf: Blickneigung relativ zur Horizontalen; Blickneigung relativ zur Auge-Ohr-Linie, Auge-Ohr-Linie relativ zur Horizontalen

Figure 1: Illustration of different anthropometric reference lines at the head: gaze inclination relative to horizontal, gaze inclination relative to eye-ear-line, eye-ear-line relative to horizontal

Tabelle 1: Literaturübersicht: Günstige Blickneigung bei arretiertem Kopf

Table 1: Review of the literature: Favorable gaze inclination with fixed head position

Studie	Kopfneigung (Auge-Ohr-Linie) rel. zur Horizontalen	Blickneigung rel. zur Auge-Ohr-Linie	Blickneigung rel. zur Horizontalen	N	Sehabstand [cm]	Sehaufgabe
Experiment 1 dieser Studie a) Objektiv, EyeLink II b) nach Menozzi et al. (1994) c) nach Kroemer & Hill (1986) d) Schnelltest	+16,5°	a) -25,1° b) -30,5° c) -30,9° d) -25,3°	a) -9,1° b) -14,0° c) -14,4° d) -9,3°	20	80	a) Dunkelheit b) Sehzeichen c) Sehzeichen d) geschlossene Augen
Heuer et al. (1991)	+21° ²	-32° ¹ -28° ¹	-11° -7°	24	50 100	Sehzeichen
Kroemer & Hill (1986)	+11° +11°	-43,8° -35,4°	-32,8° ¹ -24,4° ¹	32	50 100	Landoltringe & visuelle Aufgabe
Menozzi et al. (1994)	+11°	-23,3° ¹	-12,3°	114	100/30/ 50	Sehzeichen
Mon-Williams et al. (1999)	+10°	-26,8°	-16,8°	12	65	Lesetext
Mon-Williams et al. (1999)	0°	-34,3° -33° -27,4°	-34,3° -33° -27,4°	6	33 50 100	Lesetext

¹ = ergänzt; ² = nachträglich

Tabelle 2: Literaturübersicht: Günstige Blickneigung bei frei beweglichem Kopf
Table 2: Review of the literature: Favorable gaze inclination with freely movable head

Studie	Kopfneigung (Auge-Ohr-Linie) rel. zur Horizontalen	Blickneigung rel. zur Auge-Ohr-Linie	Blickneigung rel. zur Horizontalen	N	Sehabstand [cm]	Sehaufgabe
Experiment 2 dieser Studie Sitzung 1 Sitzung 2	+9,5° +12,4°	-31,5° -29°	-22° -16,6°	16	80	Geschlossene Augen
Burgess-Limerick (1998)	+19° bis +8°	-22° bis -27°	-3° bis -20°	12	87	Einfluss durch Anfangshöhe des Bildschirms
Grandjean et al. (1983)			-9°(+2° bis -26°) zur Bildschirmmitte	56	76 (61 bis 93)	Feldstudie: Bildschirmarbeit
Jaschinski et al. (1998)			-8,6° (-3° bis -15°)	21	56 bis 98	Feldstudie: Bildschirmarbeit
Jaschinski (2008)	+6,9°	-34,9°	-28°	8	40 bis 80	Feldstudie: Bildschirmarbeit

in 2.1). Auch für diese vier Indikatoren verwenden wir als Oberbegriff die Bezeichnung „günstige Blickneigung“, von der erwartet wird, dass sie physiologisch für den Arbeitsplatz adäquat ist und dabei Beanspruchungen gering sind. Daraus soll ein einfaches Schnelltestverfahren der günstigen Blickneigung abgeleitet werden, das auch in der ergonomischen Beratung leicht angewendet werden kann. Das Ziel von Experiment 2 besteht darin, die Blickneigung mit frei beweglichem Kopf in unterschiedlichen Kopfneigungen zu untersuchen, um die Abhängigkeit von der Kopfneigung zu beschreiben. Beide Experimente beinhalteten eine Messwiederholung.

Experiment 1

Zum Vergleich verschiedener Messverfahren der physiologisch günstigen Blickneigung werden vier verschiedene Methoden (siehe 1.1) miteinander verglichen (Inter-Korrelationen) sowie deren Stabilität durch Messwiederholungen untersucht (Test-Retest-Korrelationen). Teile dieser Befunde wurden vorab in Kurzform beschrieben (Schulz & Jaschinski 2009). Die verwendeten Methoden waren Teile von DFG-Projekten (DFG JA 747/4-1; JA 747/5-1), die von der Ethikkommission des IfADO befürwortet wurden. Die Probanden gaben eine schriftliche Einverständniserklärung ab, nachdem sie über die Untersuchungsmethoden informiert worden waren.

1.1 Methode

Zwanzig normalsichtige Versuchspersonen, im Alter von 18 bis 42 Jahren,

wurden in zwei Sitzungen mit etwa einwöchigem Abstand getestet. Alle Messungen erfolgten in der individuell günstigen Kopfneigung, die so bestimmt wurde, dass die Versuchsperson mit geschlossenen Augen den Kopf wiederholt aufwärts und abwärts neigte, bis sie eine angenehme Kopfposition empfand. Die auf diese Weise operationalisierte bequeme Kopfneigung wird in Masseida et al. (2013) als komfortable Kopfneigung bezeichnet und als Neigung der Auge-Ohr-Linie (Verbindungsline zwischen dem Tragus und dem äußeren Augenwinkel) relativ zur Horizontalen gemessen. Eine flexible Kopf- und Kinnstütze wurde entsprechend angepasst. Die komfortable Kopfneigung der ersten Sitzung wurde auch in der zweiten Sitzung eingestellt.

Die folgenden vier Messverfahren wurden miteinander verglichen:

- Blickneigung minimaler Anstrengung:** Bei verschiedenen vertikalen Blickrichtungen gaben die Probanden das Maß der Anstrengung beim Fixieren einer selbstleuchtenden, ringförmigen Duane-Figur für 10 s dadurch an, dass sie entsprechend kräftig auf einen Drucksensor drückten (vgl. Bild 2). Damit diese intermodale Skalierung möglichst zuverlässig erfolgte, wurde vorab eine Übungsphase zur Referenzbildung durchgeführt. Das Sehojekt wurde auf einen hohen Blickneigungswinkel von +20° eingestellt, der erwartungsgemäß die größte Anstrengung in diesem Messbereich hervorruft (Menozzi et al., 1994). Danach sollte der Proband einen Druck auf den Kraftsensor aus-

üben, der zu einem Messwert von 20 V führte (der tatsächliche Messbereich reichte bis 35 V, die Probanden sahen die Skala des Voltmeters nicht). Bei fünf solchen Durchgängen wurde dem Probanden mitgeteilt, wann der 20 V-Messwert erreicht war; dieser Druck wurde gegenüber dem Probanden als maximaler Anstrengungswert definiert. Danach hatte der Proband die Aufgabe, fünfmal selbstständig diesen Druck zu reproduzieren. An die gemessenen Kräfte bei Blickneigungen von +10°, 0°, -10°, -20°, -30°, -40° und -50° wurde mathematisch eine Parabel angepasst und das Minimum berechnet, das als „Blickneigung minimaler Anstrengung“ definiert wurde (Menozzi et al. 1994).

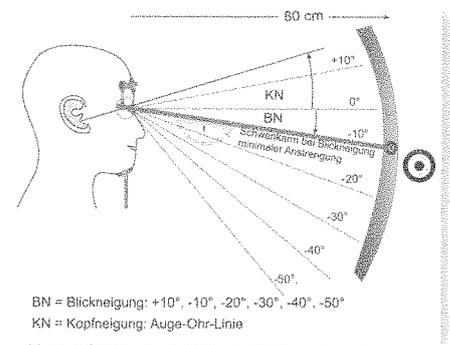


Bild 2: Messverfahren für die Blickneigung minimaler Anstrengung
Figure 2: Procedure for measuring the gaze inclination of minimal strain

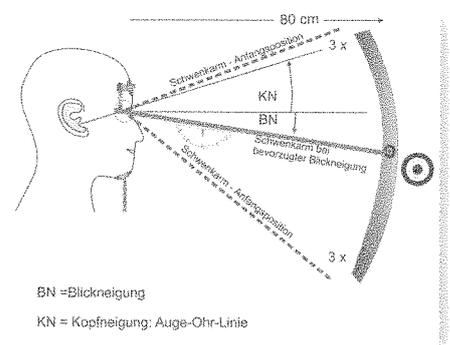


Bild 3: Messverfahren für die bevorzugte Blickneigung
Figure 3: Procedure for measuring the preferred gaze inclination

- Bevorzugte Blickneigung:** Die ringförmige Duane-Figur wurde auf einem Schwenkarm abwechselnd von oben und von unten ins Blickfeld geführt (vgl. Bild 3). Hierbei gab die Versuchsperson den Punkt an, von dem an die vertikale Augenposition als angenehm empfunden wurde. Diese gewählte Bewegungsrichtung

aus dem oberen bzw. unteren Anstrengungsbereich in Richtung auf den mittleren komfortablen Bereich hat den Vorteil, dass die Probanden am Anfang jeweils eine anstrengende Situation bemerken konnten; bei der umgekehrten Bewegungsrichtung wäre es auch vorab unklar, welches jeweils der Startwert, d. h. die individuell bevorzugte Blickneigung wäre. Der Mittelwert aus dem oberen und unteren Grenzwert ergab die „bevorzugte Blickneigung“ (Heuer et al. 1991; Hill & Kroemer 1986).

- c) Objektive Ruheblickneigung: Mit dem Video-Eyetracker EyeLink II wurde die vertikale Augenstellung gemessen, während die Versuchspersonen für 60 s in Dunkelheit ihre Augen entspannten. Der Median dieser Position wurde als objektive Ruheblickneigung definiert, und zwar auf der Basis von zwei Kalibrierungen, die vor und nach jeder Messung erfolgten und gemittelt wurden. Dieses Messverfahren beruht auf der Erwartung, dass die Augen ohne Sehanforderung (in Dunkelheit) eine physiologisch günstige vertikale Richtung anstreben, die als Ruhelage interpretiert wird. Dieses Konzept entspricht den Dunkel-Ruhelagen der Akkommodation (Krueger et al. 1982) oder der Konvergenz der Augen (Jaschinski 1999).

- d) Komfortable Blickneigung: Vor der Versuchsperson stand in 80 cm Entfernung senkrecht eine Kartonsäule mit quadratischem Querschnitt, auf jeder Seite bedruckt mit vertikal angeordneten Zeichen (Zahlen oder Buchstaben; vgl. Bild 4). Mit geschlossenen Augen wurden Augenbewegungen in vertikaler Richtung ausgeführt bis eine angenehme Augenposition gefunden wurde. Nach dem Öffnen der Augen gaben die Versuchspersonen das Sehzeichen an, das sie spontan als erstes wahrnahmen. Dieser Vorgang wurde mit jeder Seite der Säule wiederholt und aus dem Mittelwert geometrisch die resultierende Blickneigung errechnet. Bei diesem Test wird erwartet, dass auch bei geschlossenen Augen eine vertikale Ruhestellung eingenommen wird, die durch die spontane Blickrichtung beim Augenöffnen ermittelt werden kann. Die Erfahrungen mit diesem Test zeigten, dass Probanden beim Öffnen der Augen sofort und eindeutig ein bestimmtes Zeichen erken-

nen konnten. Es gab gewöhnlich keine Schwierigkeiten durch Einstellbewegungen der Augen oder das Scharfstellen, denn der gewählte Sehabstand entspricht einerseits typischen Sehabständen am Bildschirm, andererseits aber auch der mittleren Ruhelage von Akkommodation und Konvergenz (Krueger et al. 1982; Jaschinski 1999).

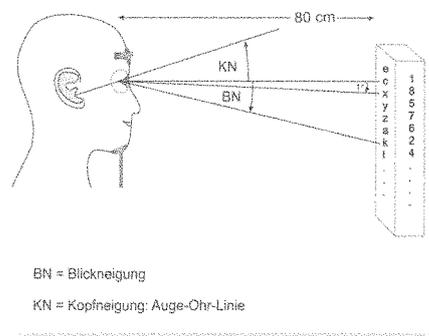


Bild 4: Schnelltest zur Messung der komfortablen Blickneigung

Figure 4: Quick test for measuring the comfortable gaze inclination

1.2 Ergebnisse

Es ergab sich eine mittlere komfortable Kopfneigung von $+16,5^\circ \pm 4,0^\circ$ (Auge Ohr Linie relativ zur Horizontalen). Tabelle 3 beschreibt die wichtigsten Kenngrößen der vier Indikatoren der günstigen Blickneigung, die jeweils signifikante Test-Retest-Korrelationen aufwiesen. Die Blickneigung minimaler

Anstrengung und die bevorzugte Blickneigung lagen im Mittel beide bei -14° . Sie zeigten keinen signifikanten Mittelwertunterschied, eine gute Interkorrelation ($R^2=0,71$, $r=0,84$) und sind in Bild 5 in einem Bland-Altman-Diagramm dargestellt. Der Mittelwert der Differenzen $\pm 2 \cdot SD$ zwischen der Blickneigung minimaler Anstrengung und der bevorzugten Blickneigung liegt bei $+0,5^\circ \pm 5,5^\circ$. Die meisten Datenpunkte der Differenzen liegen im Bereich von -3° bis $+3^\circ$. Somit stimmen beide Methoden nahezu überein. Die beiden Messverfahren sind deshalb in Tabelle 3 unter Typ 1 zusammengefasst. Auch die objektive Ruheblickneigung und die komfortable Blickneigung hatten untereinander ähnliche Gruppenmittelwerte (-9° ; Interkorrelation: $R^2=0,455$, $r=0,67$). Allerdings fiel die Bland-Altman-Analyse für den Vergleich von objektiver Ruheblickneigung und komfortabler Blickneigung ungünstiger aus (Mittelwert der Differenzen $\pm 2 \cdot SD$: $0,1^\circ \pm 11,7^\circ$). Auf Grund der Ähnlichkeit der Gruppenmittelwerte und der guten Interkorrelation werden die beiden Indikatoren (c) und (d) als Varianten der Ruheblickneigung verstanden und in Tabelle 3 als Typ 2 bezeichnet. Der Mittelwertunterschied von Typ 1 (a und b) versus Typ 2 (c und d) war signifikant und betrug etwa 5° ($t=4,9$; $p<0,001$). Auch die vier möglichen Paardifferenzen dieser Art (a-c, a-d, b-c, b-d) waren statistisch signifikant ($t>3,0$; $p<0,005$).

Tabelle 3: Für jedes Messverfahren (a, b, c, d) sind die wichtigsten statistischen Kenngrößen sowie die Interkorrelationen zwischen den Verfahren dargestellt: MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung. Alle Korrelationen sind signifikant mit $p < 0,001$. Mittlere komfortable Kopfneigung: $+16,5^\circ$ (Auge-Ohr-Linie relativ zur Horizontalen)

Table 3: The most important statistical parameters as well as the intercorrelations between the methods are shown for every measuring procedure (a, b, c, d). MW: mean value, SD: standard deviation. All correlations are significant with $p < 0,001$. Mean value of comfortable head inclination: $+16,5^\circ$ (eye-ear-line relative to horizontal)

Messgröße	MW \pm SD [°]	Test-Retest-Korrelation	MW \pm 2*SD der Differenzen zwischen beiden Sitzungen [°]	Interkorrelationen	Interkorrelation	
Typ 1						
a) Blickneigung minimaler Anstrengung	-14,0 \pm 5,1	$r = 0,76$	1,4 \pm 7,8	$r = 0,84$	$r = 0,72$	
b) Bevorzugte Blickneigung	-14,5 \pm 4,3	$r = 0,87$	0,5 \pm 4,4			
Typ 2						
c) Objektive Ruheblickneigung	-9,1 \pm 7,6	$r = 0,79$ (n=17)	1,4 \pm 9,4 (n=17)	$r = 0,67$ (n=20)		
d) Komfortable Blickneigung	-9,3 \pm 6,8	$r = 0,91^1$	0,4 \pm 5,2 (n=20)			

¹ Die komfortable Blickneigung wurde in einem weiteren Laborexperiment gemessen. Hier betrug der zeitliche Abstand zwischen zwei Messungen ein Jahr, wobei beim zweiten Mal die individuelle komfortable Kopfneigung des ersten Maltes eingestellt wurde. Die Blickneigung erwies sich sogar bei diesem zeitlichen Abstand als sehr stabil ($R^2 = 0,70$, $r = 0,84$, $f(x) = 0,91 \cdot x + 1,94$).

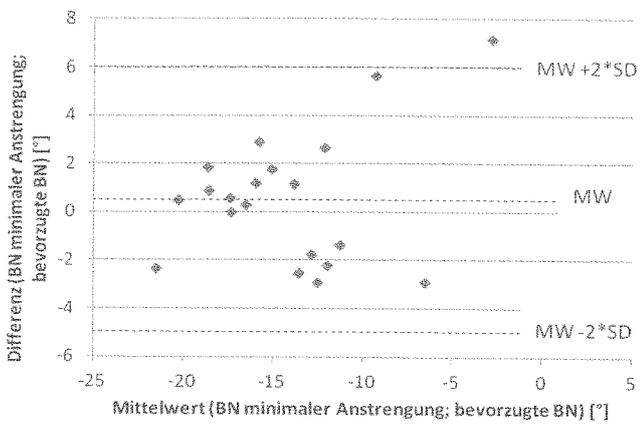


Bild 5: Bland-Altman-Diagramm: Gegenüberstellung der Blickneigung minimaler Anstrengung und der bevorzugten Blickneigung. BN: Blickneigung, MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Figure 5: Bland-Altman-plot of the relation between gaze inclination of minimal strain and the preferred gaze inclination. BN: gaze inclination, MW: mean value, SD: Standard deviation

Es wird im Folgenden geprüft, ob die im Schnelltest ermittelte komfortable Blickneigung eine Vorhersage der Ergebnisse der anderen Messverfahren erlauben könnte. Mit Hilfe von Regressionen vergleichen wir deshalb die komfortable Blickneigung mit den Befunden der drei anderen Verfahren. Identische individuelle Werte würden sich in einer hohen Varianzaufklärung R^2 und einer Steigung von etwa 1,0 ausdrücken. Entsprechend erlaubt die komfortable Blickneigung eine passable Vorhersa-

Steigung von 0,76 zumindest nicht signifikant von 1,0 ab. Jedoch finden wir in Bild 6b und Bild 6c flachere Regressionsgeraden, deren Steigungen signifikant kleiner als 1,0 sind. Die Steigung der Regressionsgerade der Blickneigung

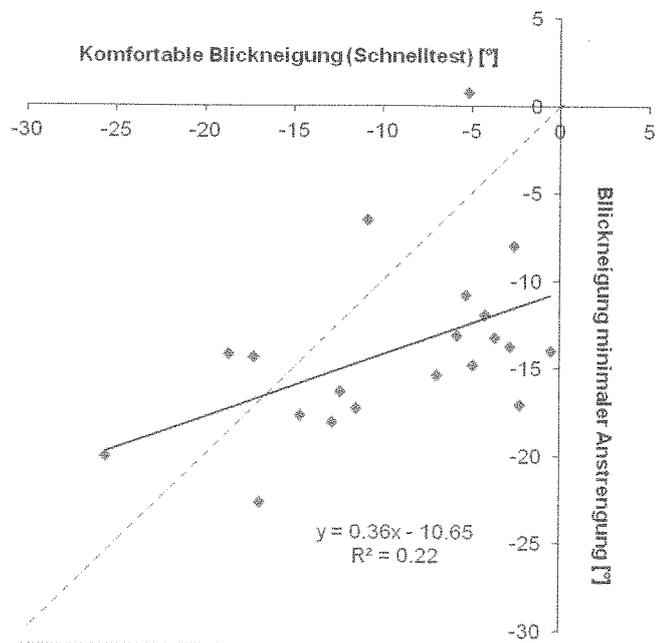


Bild 6b: Regression zwischen der komfortablen Blickneigung (Schnelltest) und der Blickneigung minimaler Anstrengung

Figure 6b: Regression of the comfortable gaze inclination of the quick test and the gaze inclination of minimal strain

ge der objektiven Ruheblickneigung (vgl. Bild 6a). Hierbei weicht die

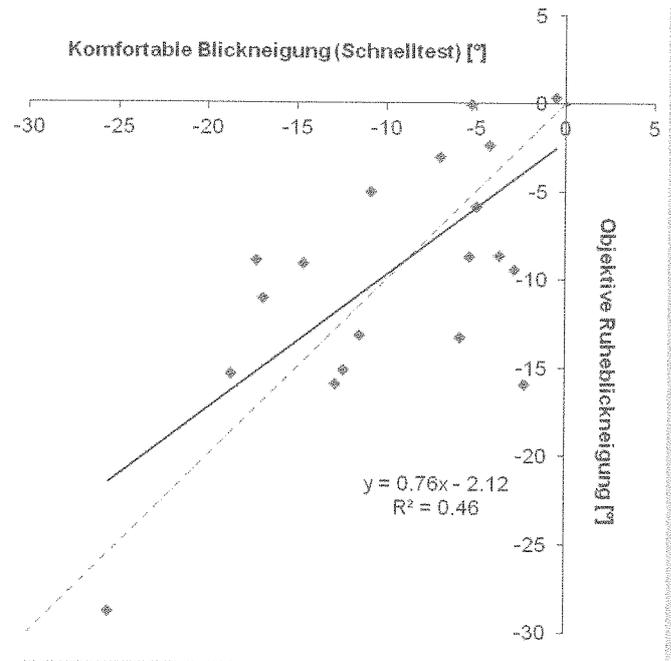


Bild 6a: Regression zwischen der objektiven Ruheblickneigung in Dunkelheit und der komfortablen Blickneigung (Schnelltest). Der Koordinatenursprung bedeutet eine horizontale Blickrichtung; je negativer die Messwerte, umso stärker ist der Blick abwärts geneigt

Figure 6a: Regression between the objectively measured resting gaze inclination (in darkness) and the comfortable gaze inclination of the quick test. The point of origin means a horizontal gaze inclination. The more negative the data point, the more downwards is the gaze

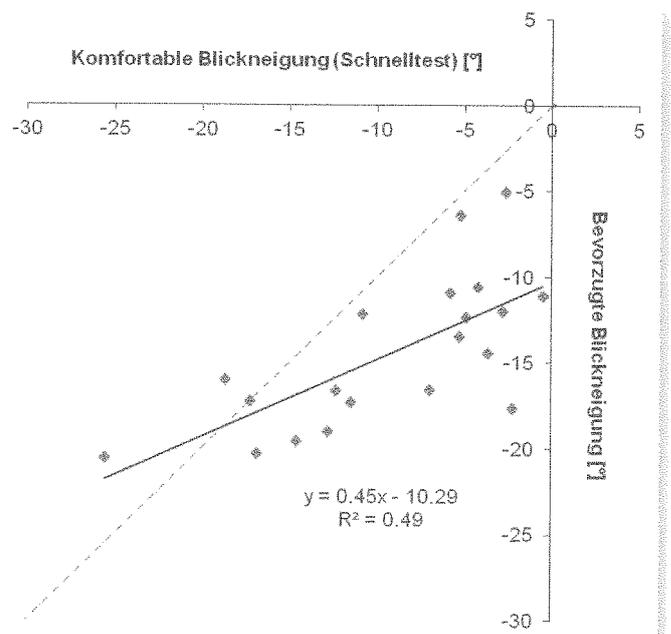


Bild 6c: Regression zwischen der komfortablen Blickneigung (Schnelltest) und der bevorzugten Blickneigung

Figure 6c: Regression between the comfortable gaze inclination of the quick test and the preferred gaze inclination

6b). Entsprechend ergab sich für die Abhängigkeit der Blickneigung minimaler Anstrengung von der komfortablen Blickneigung eine Steigung von 0,45 mit einem 95% Konfidenzintervall von 0,02 bis 0,68.

1.3 Diskussion

Wenn Personen ihre komfortable Kopfneigung (Gruppenmittel: $+16,5^\circ$) einnahmen, ergaben die objektive Ruheblickneigung und die komfortable Blickneigung Mittelwerte von ca. -9° , während die Blickneigung mit minimaler Anstrengung und auch die bevorzugte Blickneigung um etwa 5° stärker abwärts geneigt waren, nämlich auf etwa -14° . Auf Grund der Tatsache, dass die Verfahren zur Messung der Blickneigung minimaler Anstrengung (a) und zur bevorzugten Blickneigung (b) durchgängig mit visuellem Reiz durchgeführt wurden, kann angenommen werden, dass diese Befunde eher den Blickneigungen bei natürlicher Sehsituation entsprechen. Aufgrund der Bland-Altman-Analyse (Bild 5) können beide Verfahren somit als übereinstimmend betrachtet werden und wurden bereits als Typ 1 definiert.

Die komfortable Blickneigung ist zwar mit der objektiven Ruheblickneigung korreliert, jedoch ist eine größere Streuung vorhanden, was durch die geringere Reliabilität von vertikalen Messungen mit dem EyeLink-System bedingt ist. Zu erkennen ist die Unsicherheit der objektiven Messung auch darin, dass die doppelte Standardabweichung der Differenzen zwischen beiden Sitzungen mit ca. $\pm 9^\circ$ fast doppelt so groß ist wie die der komfortablen Blickneigung oder der bevorzugten Blickneigung. Jedoch weist die komfortable Blickneigung mehr Ähnlichkeit mit der objektiven Messung als mit den anderen beiden Verfahren auf.

Bei der komfortablen Blickneigung mit Hilfe des Schnelltestes ist zunächst nicht eindeutig bestimmbar, ob sie durch einen visuellen Reiz beeinflusst wurde oder nicht. Beim Schnelltest wurde eine angenehme Augenposition bei geschlossenen Augen eingenommen, anschließend sollten aber die Augen geöffnet werden, um auf der Skala spontan das Sehzeichen zu nennen, was zuerst wahrgenommen wurde. Auch durch die ähnlichen Ergebnisse zur objektiven Messung, die in vollkommener Dunkelheit stattfand, wird angenommen, dass der

visuelle Reiz beim Schnelltest keinen Einfluss hat. Schnelltest und objektive Messung wurden deshalb als Typ 2 zusammengefasst und als Indikatoren der Ruheblickneigung verstanden.

Die tieferen Blickneigungen vom Typ 1 im Vergleich zu Typ 2 erklären sich möglicherweise dadurch, dass mit visuellem Reiz auch Sehfunktionen wie Akkommodation und Vergenz aktiviert werden, die durch ein Abwärtsblicken unterstützt werden können (Jaschinski et al., 1998; Jaschinski 1999). In der evolutionären Entwicklung des visuellen Systems war das Sehen auf ferne Objekte mit einem horizontalen Blick verbunden, während Nahsehaufgaben meist mit einem abwärts geneigten Blick gekoppelt waren, z. B. bei handwerklichen Tätigkeiten.

In der Praxis sind die beiden Verfahren (a) und (b) methodisch aufwendig. Weil die Messung der komfortablen Blickneigung mit dem Schnelltest-Verfahren in der Praxis leichter handhabbar ist, wurde überprüft, ob mit Hilfe der Schnelltest-Daten auf die Messwerte der Verfahren (a) und (b) geschlossen werden kann. Aus diesem Grund wurde die komfortable Blickneigung als unabhängige Variable gewählt. Die Regressionen zeigen, dass zwischen den Ergebnissen des Schnelltestes und der bevorzugten Blickneigung, sowie des Schnelltestes und der Blickneigung minimaler Anstrengung nicht nur Mittelwertunterschiede bestehen. Die Steigung der Regressionsgeraden ist statistisch signifikant geringer als 1,0. Im Prinzip gäbe es somit die Möglichkeit, mit Hilfe der Regressionsgleichung individuell von der komfortablen Blickneigung auf die beiden anderen Indikatoren zu schließen. Da jedoch trotz signifikanter Inter-Korrelationen die Varianzaufklärung begrenzt ist, erscheint es praktikabler, näherungsweise die Ergebnisse der komfortablen Blickneigung um 5° nach unten zu korrigieren, um den Indikatoren mit wirksamen visuellen Reizen nä-

her zu kommen. Dies führt im Mittel auf eine komfortable Blickneigung von ca. -14° in der aktuellen Stichprobe, wobei dabei die komfortable Kopfneigung noch etwas zu hoch abgeschätzt ist, weil sie ebenfalls mit geschlossenen Augen gemessen wurde (Masseida et al., 2013). Diese Mittelwerte können als erster Anhaltspunkt dienen, zusätzlich sollten die beschriebenen individuellen Unterschiede berücksichtigt werden.

Die vier Indikatoren zur Operationalisierung der günstigen Blickneigung zeigten - trotz gewisser Unterschiede in den resultierenden Gruppenmittelwerten - signifikante Inter-Korrelationen. Diese Kongruenz der Befunde spricht dafür, dass (1) individuelle Tendenzen zu höheren oder tieferen günstigen Blickneigungen bestehen und dass (2) die resultierenden Werte physiologisch adäquat sind und erwartungsgemäß bei längerer Arbeit keine hohen Beanspruchungen auftreten. Dies sollte in praxisnahen Feldstudien weiter untersucht werden. Die ergonomischen Interventionsfeldstudien von König & Jaschinski (2012) und Meinert et al. (2014, im Druck) zeigen bereits, dass im Mittel Blickneigungen von ca. -20° bei Computerarbeit in Betrieben von den Beschäftigten akzeptiert werden und zu geringen Beschwerden führen, wenn eine freie Verstellbarkeit von Bildschirmen besteht und genutzt wird.

2 Experiment 2

Im Rahmen einer Studie zur Untersuchung des Kopfbewegungsverhaltens bei verschiedenen Kopfneigungen (Massei-

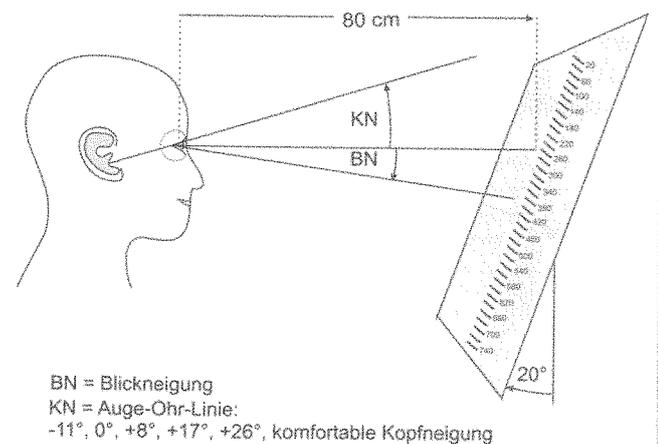


Bild 7: Skala zur Bestimmung der komfortablen Blickneigung (Schnelltest) bei verschiedenen Kopfneigungen

Figure 7: Scale for measuring the comfortable gaze inclination of the quick test at different head inclinations

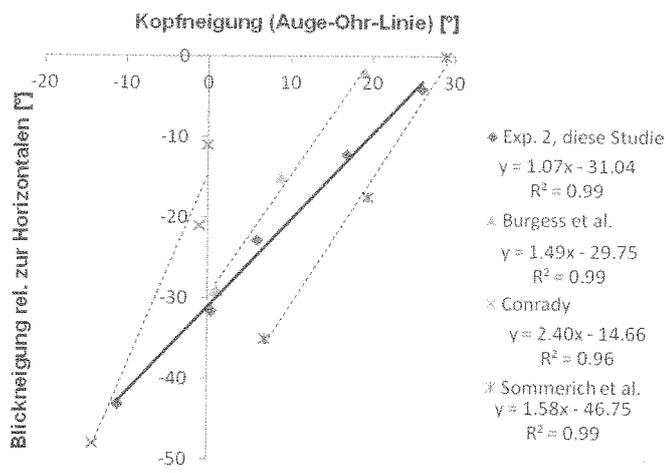


Bild 8: Blickneigung (relativ zur Horizontalen) als Funktion der Kopfneigung: Komfortable Blickneigung (Experiment 2 dieser Studie, durchgezogene Regressionsgerade) und günstige Blickneigung in Vergleichsstudien (gestrichelte Regressionsgeraden) als Funktion der Kopfneigung. In allen Studien war der Kopf frei beweglich. Die Daten aus anderen Studien wurden z. T. aus Diagrammen geschätzt (Conrady et al. 1987). Die Winkelangaben im Diagramm beschreiben die Neigung der Sehaufgabe bei Conrady et al. (1987)

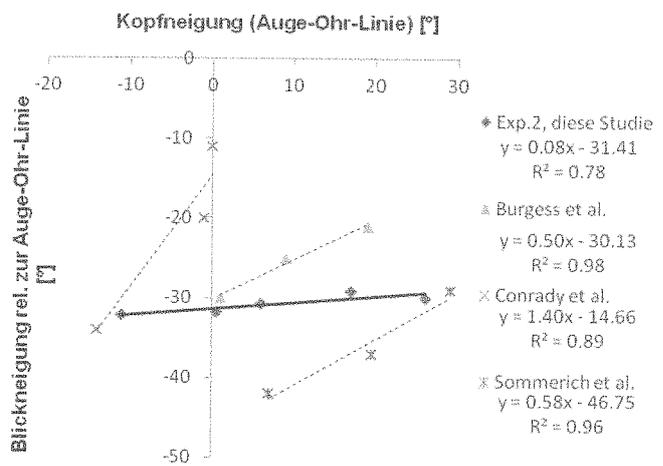


Bild 9: Alle Blickneigungen als Funktion der Kopfneigungen in Bild 8 wurden auf die Auge-Ohr-Linie bezogen. Komfortable Blickneigung (Experiment 2 dieser Studie, durchgezogene Regressionsgerade) und günstige Blickneigung in Vergleichsstudien (gestrichelte Regressionsgeraden). Im Vergleich zu den Ergebnissen von Conrady et al. (1987), Burgess-Limerick et al. (1998) und Sommerich et al. (2001) ändert sich die Augenneigung relativ zum Kopf in Experiment 2 dieser Studie nur geringfügig

Figure 8: Gaze inclination (relative to horizontal) as a function of head inclination: Comfortable gaze inclination of the quick test (Experiment 2 of the present study, drawn regression line) and favorable gaze inclination of comparative studies (broken regression lines). The head was freely movable in every study. The data were partially estimated from diagrams of the literature (Conrady et al. 1987). The angles indicated in this diagram describe the inclination of the visual task in Conrady et al. (1987)

Figure 9: All gaze inclinations as a function of head inclination of figure 8 were related to the eye-ear-line. Comfortable gaze inclination of the quick test (Experiment 2 of this study, drawn regression line) and favorable gaze inclination of comparative studies (broken regression lines). In contrast to the results of Conrady et al. (1987), Burgess-Limerick et al. (1998) and Sommerich et al. (2001), the change of the eye inclination relative to the head is small in Experiment 2 of the present study

da et al., 2013) wurde die komfortable Blickneigung von 16 Versuchspersonen (Alter: 25 ± 3 Jahre, ohne Sehhilfe) erfasst, um eine angenehme vertikale Augen-neigung relativ zum Kopf für eine horizontale Trackingaufgabe einzustellen (Bild 7). Diese Daten werden hier in Bezug auf die Frage ausgewertet, wie die komfortable Blickneigung möglicherweise systematisch von der Kopfneigung abhängt (vgl. Literaturübersicht Tabelle 1 und 2). Mit dieser Analyse soll eine Verbindung hergestellt werden zwischen den Befunden zur komfortablen Blickneigung in Experiment 1 (Schnelltest) und den in der Literatur beschriebenen Zusammenhängen zwischen Blickneigung und Kopfneigung.

Die Literaturdaten sind in Bild 8 und 9 zusammengefasst (gestrichelte Regressionsgeraden) und stammen aus Studien, die zum Teil verschiedene Ausgangssituationen aufwiesen: So ermittelten Burgess Limerick et al. (1998) die Blickneigung ausgehend von verschiedenen vertikalen Bildschirmpositionen (hoch,

mittel, tief), während Conrady et al. (1987) die Neigung des Bildschirms veränderten (90° , 60° , 0°). Sommerich et al. (2001) erfassten die Blickneigung relativ zur Auge-Ohr-Linie bei verschiedenen vertikalen Bildschirmpositionen, die zu bestimmten Blickneigungen relativ zur Horizontalen (0° , $-17,5^\circ$, -35°) führten. Hieraus konnte die Kopfneigung berechnet werden.

2.1. Methode

In dem Experiment von Maseida et al. (2013) wurden die Kopfneigungsstufen von -9° , $+1^\circ$, $+11^\circ$, $+21^\circ$, $+31^\circ$ (Auge-Ohr-Linie relativ zur Horizontalen; die Frankfurter Linie liegt nach Menozzi et al. (1996) im Mittel um 11° unterhalb der Auge-Ohr-Linie) sowie die jeweils individuell komfortable Kopfneigung angestrebt. Dabei wurde vor Beginn der Kopfbewegungsaufgabe die Versuchsperson gebeten, den frei beweglichen Kopf auf den angestrebten Neigungswinkel zu bringen. Dies wurde durch Anpeilen der Auge-Ohr-Linie mit einem

Neigungsmessgerät überprüft. Einige Sekunden danach wurde ein Digitalfoto dieser Situation aufgenommen und für die vorliegende Blickneigungsstudie ausgewertet. Vom Augenwinkel wurde eine Linie zu der Zahl auf der Leinwand gezogen, die die Versuchsperson nach dem Öffnen der Augen angegeben hatte; der Winkel relativ zur Horizontalen entspricht der komfortablen Blickneigung (Bild 4).

Aus dieser Fotoanalyse ergaben sich mittlere Kopfneigungen (\pm SD) von $-11,0 \pm 0,9^\circ$; $+0,3 \pm 0,9^\circ$; $+8,0 \pm 1,5^\circ$; $+17,0 \pm 1,3^\circ$; $+25,9 \pm 1,4^\circ$. Diese Werte wichen jeweils signifikant ($p < 0,05$) von den angestrebten Kopfneigungen von 9° , $+1^\circ$, $+11^\circ$, $+21^\circ$, $+31^\circ$ (Auge-Ohr-Linie relativ zur Horizontalen) ab. Die Gründe für diese Differenzen könnten möglicherweise in einer Änderung der Kopfneigung durch die Versuchspersonen zwischen dem Anpeilen mit dem Neigungsmessgerät und der fotografischen Erfassung liegen oder in einer unterschiedlichen Beurteilung der Auge-

Ohr-Linie zwischen dem Foto und dem Anpeilen im realen Versuch. Für die Fragestellung dieses Experiments ist jedoch eine gradgenaue absolute Kopfnieigungsmessung nicht erforderlich. In diesen Messbedingungen liegen deutlich verschiedene Kopfnieigungen vor, die einen großen Bereich von üblicherweise vorkommenden Kopfnieigungen abdecken. Es wird mit einer Varianzanalyse geprüft, ob sich die Kopfnieigung auf die Augenrichtung relativ zum Kopf auswirkt. In der Darstellung verwenden wir die Kopfnieigungsmessungen der Fotoanalyse, weil darin Kopfnieigung und Blickneigung im identischen Zeitpunkt erhoben sind. Wir haben uns vergewissert, dass die Fotoauswertung keine Winkelverzerrungen verursacht.

Bestimmung der komfortablen Blickneigung

Nach der Einstellung der entsprechenden Kopfnieigung (gerundete Werte der Auge Ohr Linie: -11° , 0° , $+8^\circ$, $+17^\circ$, $+26^\circ$, komfortable Kopfnieigung) sollte die Versuchsperson bei geschlossenen Augen einige entspannte Augenbewegungen nach rechts und links ausführen und eine angenehme vertikale Augenposition erreichen. Hiernach öffneten die Versuchspersonen die Augen und nannten spontan die Zahl auf der Zahlenskala, die sie als erstes wahrnahmen (vgl. Bild 7). Die Zahlenskala wurde auf einer Rückprojektionsleinwand mit Hilfe eines *Acer X1230PS Projektors* projiziert, wobei sich die Leinwand ca. 80 cm vor den Augen der Versuchsperson befand und um 20° nach hinten geneigt war; diese Neigung der Leinwand wurde vorgenommen, um über den gesamten Blickneigungsbereich einen ähnlichen horizontalen Schinkel der Projektionsfläche zu erzielen, was für die parallel untersuchte Kopfrackingaufgabe wichtig war (Masseida et al., 2013). Die Methode war nahezu identisch mit der Messung der komfortablen Blickneigung in Experiment 1 (Bild 4). Der Versuch wurde nach ca. einer Woche wiederholt.

Bestimmung der komfortablen Kopfnieigung

Als Weiterentwicklung der Versuchsanweisung zu früheren Studien (Ankrum & Nehmet 2000; Jaschinski 2008) wurden die Versuchspersonen gebeten, bei geschlossenen Augen den Kopf im entspannten Zustand nach rechts und links zu bewegen, und zwar mit fließenden Übergängen zwischen aufrechtem, an-

gehobenem und gesenktem Kopf. Dabei wurden die Versuchspersonen angewiesen, die Kopfnieigung zu erreichen, die ihnen subjektiv am angenehmsten für ihren Nacken erschien. Die entsprechende Kopfnieigung wurde mit einem Neigungsmessgerät dreimal gemessen und der Median ermittelt.

2.2 Ergebnisse

Bei der freien Kopfhaltung ohne Kopfstütze in diesem Experiment lagen die Test-Retest-Korrelationen der komfortablen Blickneigung zwischen 0,09 und 0,67 (Median 0,50); $p < 0,05$ bei $r > 0,43$. Die mittlere komfortable Kopfnieigung betrug in Sitzung 1 $+9,5 \pm 6,3^\circ$ und in Sitzung 2 $+12,4 \pm 4,2^\circ$. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse ergab weder einen signifikanten Effekt der Sitzung, noch eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Kopfnieigung und Sitzung. Jedoch hatte die Kopfnieigung einen hoch-signifikanten Einfluss auf die komfortable Blickneigung, wenn sie auf die Horizontale bezogen wurde ($F(1,94) = 456,9$; $p < 0,001$).

In Bild 8 sind alle Blickneigungen auf die Horizontale bezogen. Entsprechend der durchgezogenen Regressionsgerade verschiebt sich die komfortable Blickneigung mit zunehmender Absenkung des Kopfes nach unten. Die Steigung der Regressionsgerade von 1,07 bedeutet, dass die Blickneigung der Kopfnieigung nahezu im Verhältnis 1:1 folgt, als wäre die entsprechende komfortable Augenrichtung relativ zum Kopf identisch in allen Bedingungen. Dieser lineare Zusammenhang besteht sowohl in Sitzung 1 (Steigung im Gruppenmittel 1,07) als auch in Sitzung 2 (Steigung im Gruppenmittel 1,09) und weist beide Male eine hohe Anpassungsgüte auf (Sitzung 1: $R^2 = 0,99$; Sitzung 2: $R^2 = 0,99$). Bei Betrachtung der individuellen Steigungen der komfortablen Blickneigungen in Abhängigkeit von der Kopfnieigung zeigt sich eine gute Test-Retest-Korrelation zwischen beiden Sitzungen ($R^2 = 0,59$, $r = 0,77$, $p < 0,001$).

Im Unterschied zu Bild 8 sind in Bild 9 alle Blickneigungen auf die Auge-Ohr-Linie bezogen. Die resultierende kopfbezogene komfortable Augenrichtung bleibt fast konstant bei ca. 30° . Eine zweifaktorielle Varianzanalyse zeigt zwar einen signifikanten Einfluss der Kopfnieigung ($F(1,97) = 3,390$, $p = 0,048$), wobei die Ausprägung des Effektes aber gering ist.

Diskussion

Die wiederholten Einzelmessungen der komfortablen Blickneigung in Experiment 2 ergaben – vermutlich wegen des frei beweglichen Kopfes – eine geringe Stabilität zwischen den Sitzungen. In Abhängigkeit der zuvor eingestellten Kopfnieigung ergab sich jedoch ein linearer Verlauf, sowohl in den individuellen Regressionsgeraden als auch in den Regressionsgeraden der Gruppenmittelwerte. So ist das individuelle Maß der Blickneigungsänderung als Funktion der Kopfnieigung stabil zwischen den Wiederholungsmessungen ($r = 0,77$). Dies ist vergleichbar mit der Stabilität der individuellen Blickneigungen von Experiment 1, bei dem der Kopf mit einer Kinn- und Stirnstütze arretiert war.

Die Daten von Experiment 2 in Bild 9 zeigen, dass selbst bei starker Kopfnieigungsänderung die komfortable Augenstellung relativ zur Auge-Ohr-Linie um einen fast konstanten Winkel von ca. -30° abgesenkt bleibt. Im Unterschied zu diesem Befund finden sich bei Conrady (1987), Burgess-Limerick et al. (1998) und Sommerich et al. (2001) deutlich steile Regressionsgeraden der Augenrichtung relativ zum Kopf. Demnach blicken die Augen umso tiefer, je mehr der Kopf nach unten geneigt ist. Dies kann mehrere Gründe haben. In den genannten Studien wurde die günstige Blickneigung mit geöffneten Augen und visuellem Reiz bestimmt. Jedoch wurde in Experiment 2 der vorliegenden Studie die komfortable Blickneigung nach einem ähnlichen Verfahren wie in Experiment 1 bestimmt, nämlich ohne wirksamen visuellen Reiz. Möglicherweise tendieren die Augen im Vergleich zum Kopf zu tieferen Blickrichtungen, wenn ein Schreiz vorhanden ist und damit die Notwendigkeit zum Akkommodieren und Konvergieren besteht. Offenkundig nehmen solche visuellen Einflüsse zu, je mehr sich der Kopf absenkt (Jaschinski et al. 1998).

3 Gesamtdiskussion

Ziel der Studie war ein Vergleich verschiedener Messmethoden für die physiologisch günstige Blickneigung. In einem ersten Experiment wurden zwei Verfahren aus der Literatur (Menozzi et al. 1994; Kroemer & Hill 1986) mit einem objektiven Verfahren der Ruheblickneigung und einem selbst entwickelten praxisnahen Schnelltest für die

komfortable Blickneigung verglichen. In einem zweiten Experiment wurde der Verlauf der Blickneigung bei frei beweglichem Kopf in Abhängigkeit von der Kopfneigung untersucht. Dies diente dazu, Methoden weiterzuentwickeln und für Alltagssituationen anwendbar zu machen, z. B. um die günstige Höhenposition des Bildschirms im Rahmen einer ergonomischen und/oder optometrischen Beratung zu finden.

Die beiden Experimente unterschieden sich signifikant ($p < 0,001$) im Mittelwert der komfortablen Blickneigung: er betrug $-9,3^\circ$ in Experiment 1 und $-16,6^\circ$ in Experiment 2, obwohl die dabei verwendeten mittleren komfortablen Kopfneigungen ähnlich waren (Auge-Ohr-Linie jeweils bei 16° oberhalb der Horizontalen). Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass in Experiment 1 die Skala in Tischhöhe von 80 cm aufgestellt war, während in Experiment 2 die Rückprojektion auf eine Leinwand erfolgte, die bis 50 cm oberhalb des Bodens reichte und um 20° nach hinten geneigt war. Dies könnte möglicherweise in Experiment 2 zu niedrigen Blickneigungen geführt haben, selbst wenn die Probanden ihre Augen geschlossen hatten, als sie die komfortable Augenneigung einstellten. In einer weiteren Studien (König & Jaschinski 2012) fanden wir - mit demselben Testverfahren wie in Experiment 1 - Mittelwerte \pm Standardabweichungen der komfortablen Kopfneigung von $21 \pm 7^\circ$ und der komfortablen Blickneigung von $-8 \pm 7^\circ$ in einer Stichprobe von 25 alterssichtigen Beschäftigten im Alter von 51 ± 6 Jahren.

Die Befunde der vorliegenden Studie gelten zunächst für junge, medizinisch unauffällige Probanden; bei Beschäftigten mit deutlichen Verspannungen oder orthopädischen Auffälligkeiten wird eine Anwendung der hier vorgeschlagenen Tests nicht ausreichen, um Beschwerden zu mildern; vielmehr ist dann ärztlicher Rat angebracht. Eine spezielle Situation liegt auch bei alterssichtigen Beschäftigten vor: verschiedene Varianten von Brillen bei Alterssichtigkeit führen zu Einschränkungen der Bereiche des scharfen Sehens, was bei ergonomischen Lösungen berücksichtigt werden sollte (König & Jaschinski 2009); außerdem könnten die Brillen die natürlichen Augen- und Kopfbewegungen beeinflussen, was schließlich zu Adaptation der Augen - und Kopfhaltungen und der Bewegungsmuster führen kann.

Die Tabellen 1 und 2 zeigen einen Überblick über die Vielzahl von Studien zu diesem Thema, die sich jedoch in den Bezugslinien und den Testbedingungen unterscheiden. Ein Vergleich ist zum einen nur zwischen gleichen Bezugslinien möglich. Andernfalls müssen sie bei Bekanntheit von anderen Größen wie der Kopfneigung umgerechnet werden. Ein guter Vergleichswert ist die Blickneigung relativ zur Auge-Ohr-Linie. Diese Betrachtung ist unabhängig von der eingenommenen Kopfhaltung, die sich in vielen Studien unterscheidet.

Die Literaturübersicht zeigt eine beträchtliche Streubreite der günstigen Blickneigungen von -23° bis -44° (Blickneigung relativ zur Auge-Ohr-Linie) bzw. -3° bis -34° relativ zur Horizontalen. Dabei sind die flacheren Blickneigungen in solchen Studien zu finden, die entweder gar keine Sehreize verwendeten oder nur geringe Sehanforderungen hatten. In anderen Studien lagen die günstigen Blickneigungen relativ zur Auge-Ohr-Linie deutlich tiefer: nämlich bei -35° bis -44° in den Laborstudien von Kroemer und Hill (1986), Hill und Kroemer (1986) sowie bei Sommerich et al. (2001) (-29° bis -42°). Auch die Feldstudie von Lie und Fostervold (1995) ergab geringe Beschwerden der Beschäftigten bei deutlich niedrig aufgestellten Bildschirmen (-45° Blickneigung) im Vergleich zu einer höheren Blickneigung von -15° (jeweils relativ zur Frankfurter Linie). Hill und Kroemer (1986) verwendeten eine Experimentalaufgabe mit hohen visuellen Anforderungen, wie dem Zählen von Buchstaben in einem Text für 5 bis 10 Minuten: Dabei wurden deutlich niedrige Blickrichtungen bevorzugt, die noch um 8° niedriger waren, wenn der Sehabstand von 100 cm auf 50 cm verringert wurde. Dieser Zusammenhang zeigte sich auch in weiteren Studien von Heuer et al. (1991) und Mon Williams et al. (1999). Es ist bekannt, dass das Scharfstellen der Augen beim Nahsehen (Akkommodation) und auch das koordinierte Einstellen der Sehachsen beider Augen (Konvergenz) dadurch unterstützt werden, dass man die Augen relativ zum Kopf bzw. den Kopf relativ zur Horizontalen nach unten neigt, und zwar bis zu ca. -45° , also stärker als es der oben beschriebenen komfortablen Blickneigung entspricht (Jainta & Jaschinski 2001; Jaschinski et al. 1998b; Ripple 1952).

Sehfunktionen wie Akkommodation und Konvergenz als Funktion des Sehab-

stands und der Blickneigung sind nur durch aufwändige Messungen zu bestimmen; dies ist in den vorliegenden Experimenten nicht berücksichtigt. In einigen Experimenten haben aber beide Sehfunktionen eine Bedeutung: In Experiment 1 resultierten - im Vergleich zu Testen ohne Sehreize - bei den Testen mit visuellem Reiz (bevorzugte Blickneigung und Blickneigung minimaler Anstrengung) niedrigere Blickneigungen; jedoch war dabei die Blickneigung immer noch nicht so niedrig wie bei Hill und Kroemer (1986). Eine Ursache dafür kann sein, dass die Versuchspersonen in Experiment 1 dieser Studie die bevorzugte Blickneigung ansagen sollten, während sie bei Hill und Kroemer (1986) das Display selber verschieben sollten. Gegebenenfalls verändert diese Auge-Hand-Koordination die bevorzugte Blickneigung. Sommerich et al. (2001) untersuchten Blickneigungen während einer Leseaufgabe am Bildschirm und einer Tätigkeit mit einer Computermaus. Auch hier sind niedrigere Blickneigungen zu verzeichnen.

Nach den hier diskutierten Gesichtspunkten sind die erwähnten Studien in Tabelle 4 nach der Art der verwendeten Schaufgabe sortiert. Man erkennt darin die Systematik, dass die günstigen Blickneigungen umso niedriger sind, je höher die visuellen Anforderungen sind und je näher die Schaufgabe ist, bzw. ob die Hände beteiligt sind. Jedoch lassen sich nicht alle Literaturbefunde in dieses Schema einordnen (z. B. Experiment 2 dieser Studie), so dass möglicherweise weitere Einflussgrößen vorhanden sein können. Menozzi et al. (1994) fanden zum Beispiel in ihrer Studie keine Abhängigkeit der Blickneigung vom Sehabstand. In anderen Studien lässt sich dieser Zusammenhang jedoch erkennen.

Eine weitere Frage besteht darin, ob die Augenneigung relativ zum Kopf von der Kopfneigung abhängt. Experiment 2 ergab eine fast konstante mittlere Augenneigung (Blickneigung relativ zur Auge-Ohr-Linie) von ca. -30° bei unterschiedlichen Kopfneigungen, während in anderen Studien die Augenneigung größer wurde, je mehr der Kopf gesenkt war (Conrady et al. 1987; Burgess-Limerick et al. 1998; Sommerich et al. 2001). Auch dieser Befund kann damit zusammenhängen, dass in Experiment 2 die komfortable Blickneigung ohne (wirksamen) visuellen Reiz ermittelt wurde. Sie erfasst die vertikale Position, die die Augen ausschließlich auf Grund ihrer

Tabelle 4: Literaturübersicht über die günstige Blickneigung relativ zur Auge-Ohr-Linie, geordnet nach Sehanforderungen**Table 4:** Review of the literature: favorable gaze inclination relative to eye-ear-line, arranged according to visual demands

	Testverfahren/Art des vis. Reizes	Blickneigung rel. zur Auge-Ohr-Linie
Ohne wirksamen visuellen Reiz	Objektiv, EyeLink (diese Studie, Exp.1) Schnelltest (diese Studie, Exp.1) Schnelltest (diese Studie, Exp. 2)	-25° -25° -31°
Passives Betrachten eines Fixierreizes	Rote Leuchtdiode (Menozzi et al. 1994) Quadratischer Fixierreiz (Heuer et al. 1991) Lesetext (Mon-Williams et al. 1999) Duane-Figur (diese Studie, Exp. 1, a) Duane-Figur (diese Studie, Exp. 1, b) Lesetext (Mon-Williams et al. 1999) Quadratischer Fixierreiz (Heuer et al. 1991) Lesetext (Mon-Williams et al. 1999) Lesetext (Mon-Williams et al. 1999)	-23° -28° (100 cm) -27° (100 cm) -31° (80 cm) -31° (80 cm) -27° (65 cm) -32° (50 cm) -33° (50 cm) -34° (33 cm)
Aktive visuelle Diskriminationsaufgabe, Hände sind beteiligt	Landoltringe & vis. Aufgabe (Kroemer&Hill 1986)	-35° (100 cm) -44° (50 cm)

Muskelverbindung und Einbettung in die Orbita einnehmen. Hinzu kommen aber mit visuellem Reiz Einflüsse von Sehfunktionen, wie z. B. der Akkommodation und Konvergenz. Möglicherweise werden beim Testen mit Sehreizen zur Unterstützung der Akkommodation und Vergenz tiefere Augenpositionen eingenommen und darüber hinaus umso tiefere Augenpositionen, je mehr der Kopf gesenkt ist. Dies spricht für eine Kopplung von Akkommodation, Konvergenz, Auge- und Kopfneigung, die in weiteren Studien untersucht werden sollte.

Diese Befunde zeigen, dass es keinen festen Richtwert zur physiologisch günstigen Blickneigung gibt, der für alle Personen und Sehsituationen gilt. Vielmehr gibt es einerseits offenbar deutliche individuelle Faktoren, die sich in den Test-Retest-Korrelationen und Interkorrelationen in Experiment 1 widerspiegeln. Andererseits spielen auch äußere Faktoren wie der Sehabstand und die Höhe der visuellen Anforderung eine Rolle. Wenn man das Augenmuskelsystem (Konvergenz und Akkommodation) durch einen größeren Sehabstand entlastet, sind höhere Blickneigungen vorteilhaft, was zu höheren Kopfhaltungen und entsprechend geringen Nackenbeanspruchungen führt (Masseida et al. 2013). Bei geringen Sehabständen sollte eine Balance gefunden werden zwischen der Entlastung der Vergenz durch Abwärtsblicken und der damit verbundenen Belastung des Nackens. Bei alledem sind individuelle Unterschiede zu berücksichtigen.

Fazit für die Praxis

Die hier beschriebenen Schnellteste können in der betrieblichen Praxis den Be-

schäftigten eine unmittelbare Erfahrung davon vermitteln, dass Menschen sich in der komfortablen Neigungen des Kopfes und auch der Neigung der Augen relativ zum Kopf unterscheiden: dies führt zu individuellen Unterschieden in der komfortablen Blickneigung. Wir fanden jedoch auch, dass offenbar die günstige Blickneigung von verschiedenen äußeren Bedingungen abhängig ist. Bei eher geringen Abständen zum Bildschirm und bei hohen visuellen Anforderungen empfehlen sich tiefer aufgestellte Monitore, um dadurch die Akkommodation und Konvergenz zu unterstützen.

Für die Höhenpositionierung von Bildschirmen lässt sich aus dieser Studie abschätzen, welche günstige Blickrichtung im Raum (relativ zur Horizontalen) sich aus der ermittelten physiologisch günstigen Kopf- und Blickneigung ergibt. Betrachten wir in dieser Studie die Schnelltestverfahren, so ergibt sich in Experiment 1 eine komfortable Blickneigung von $-9,3 \pm 6,8^\circ$ und in Experiment 2 von $-16,6 \pm 4,7^\circ$ (jeweils relativ zur Horizontalen). Eine weitere Stichprobe mit ähnlichem Messverfahren kam auf eine etwas höhere komfortable Blickneigungen von $-7,7 \pm 6,7^\circ$ (König & Jaschinski 2012, n=25). Somit resultiert als Gesamtmittelwert eine komfortable Blickneigung von etwa -10° . Dieser Wert ergab sich aus Tests ohne wirksame Sehreize, während – wie oben erläutert – beim Blick auf Sehreize die günstige Kopfneigung um 6° tiefer und die günstige Blickneigung um 5° tiefer sein könnten. Dies führt auf eine mittlere günstige Blickneigung von etwa -21° , jedoch mit einer beträchtlichen inter-individuellen Streuung im Bereich von etwa -10° bis -30° , bei geringen Sehabständen auch tiefer. Diese Abschätzung aus der vorlie-

genden Laborstudie deckt sich gut mit den Befunden der Literaturrecherche von Allie et al. (2005) und der Schlussfolgerung aus der biomechanischen Modellierung von Straker et al. (2009); diese Autoren betonen, dass der Blick auf den Monitor nicht aufwärts gerichtet und nicht tiefer als -45° abgesenkt sein sollte; zwischen diesen beiden extremen Blickneigungen sei nach Straker et al. (2009) ein individuelles Optimum anzustreben. Die vorliegende Studie schlägt entsprechende Testverfahren für individuelle Präferenzen vor. Eine vergleichsweise tiefe Blickneigung von -35° (ohne Spezifikation der Kopfneigung) beschreibt die BGI 650 (2012), die bereits auf die ZH 1/618 (1980) zurückgeht. Möglicherweise beruht diese Empfehlung auf der Studie von Lehmann & Stier (1961), die zur Beschreibung einer normalen Sitz- und Körperhaltung eine manuelle Montagetätigkeit im Sitzen untersuchten: bei Vorneigung des Körpers und Blick auf die Hände ergab sich ein Mittelwert von -38° .

Schließlich ermittelten wir in Feldstudien, dass Beschäftigte ergonomische Gestaltungen mit einer mittleren Blickneigungen von etwa -20° (relativ zur Horizontalen) und einem inter-individuellen Bereich von etwa -10° bis -30° als angenehm empfanden und dauerhaft beibehielten, wenn eine freie Verstellbarkeit mit Hilfe von Schwenkarmen bestand; dabei wurden teilweise auch die beschriebenen praxisgerechten Testverfahren der komfortablen Blickneigung angewendet (König & Jaschinski, 2012; Meinert, 2013). In der ergonomischen Beratung im Betrieb könnte man Messungen der komfortablen Kopf- und Blickneigung durchführen, um auf die Problematik der physiologisch günstigen Blickneigung aufmerksam zu machen. Dabei könnten auch verschiedene Körperhaltungen berücksichtigt werden. Praktikabel ist auch ein Vorgehen, bei dem den Beschäftigten zunächst die zugrundeliegenden muskuloskelettalen und visuellen Mechanismen erläutert werden, dass die Beschäftigten dann verschiedene Monitorpositionen für eine Zeitlang erproben, um schließlich aus eigener Erfahrung ihre individuell günstige Bildschirmposition einzustellen (Jaschinski et al. 1999; Allie et al. 2010). Dies ist mit Flachbildschirmen und entsprechenden Schwenkarmen gut möglich. Eine flexible Monitoraufstellung ist besonders für Gleitsichtbrillenträger sinnvoll, weil diese Brillengläser

zwar scharfes Sehen in weiten Bereichen erlauben, jedoch nur bei einer günstigen Abstimmung der Kopf- und Augenbewegungen (König & Jaschinski, 2011; Jaschinski, 2008; von Buol, 2002). Aspekte der Kopfneigung sind in Masseur et al. (2013) beschrieben.

Danksagung

Diese Studie wurde unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG JA 747/5-1). Die Autoren bedanken sich für die Begleitung der Bachelorarbeit von F. Schulz bzw. der Masterarbeit von J. Masseur durch Frau Dr. rer. nat. C. Wicher, Fachhochschule Jena, Fachbereich SciTec.

Literatur

- Allie, P.; Purvis, C.; Kokot, D.: Computer display viewing angles: is it time to shed a few degrees? Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 49th annual meeting, 798-802, 2005
- Allie, P.; Bartha, M. C.; Kokot, D.; Purvis, C.: A field observation of display placement requirements for presbyopic and prepresbyopic computer users. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 54th annual meeting, 709-713, 2010
- Ankrum, D.; Nemeth, K.: Head and neck posture at computer workstations – What's neutral? Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association 5: 565 568, 2000
- Burgess-Limerick, R.; Plooy, A.; Ankrum, D R.: The effect of imposed and self-selected computer monitor height on posture and gaze angle. Clinical Biomechanics 13: 584 592, 1998
- Conrady, P.; Krueger, H.; Zülch, J.: Untersuchung der Belastung bei Lupen- und Mikroskopierarbeiten. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Dortmund. Fb 516: 259 266, 1987
- Delleman, N. J.: Working postures – prediction and evaluation. Amsterdam, Vrije Universiteit, Fakultät für Bewegungswissenschaften, Dissertation, 1999
- Gesetzliche Unfallversicherung (VBG): BGI 650: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze - Leitfaden für die Gestaltung. Version 2.0/2012-08, 2012
- Gesetzliche Unfallversicherung (VBG): ZH 1/618 – Sicherheitsregeln für Bildschirm-Arbeitsplätze im Bürobereich. Ausgabe 10.1980
- Grandjean, E.; Hünting, W.; Pidermann, M.: VDT Workstation Design: Preferred Settings and Their Effects. Human Factors 25(2): 161 175, 1983
- Heuer, H.; Brüwer, M.; Römer, T.; Kröger, H.; Knapp, H.: Preferred vertical gaze direction and observation distance. Ergonomics 34(3): 379 392, 1991
- Hill, S.; Kroemer, K.: Preferred declination of the line of sight. Human Factors 28(2): 127 134, 1986
- Jainta, S.; Jaschinski, W.: Fixation disparity: binocular vergence accuracy for a visual display at different positions relative to the eyes. Human Factors 44(3): 443-450, 2002
- Jaschinski, W.; Koitcheva, V.; Heuer, H.: Fixation disparity, accommodation, dark vergence and dark focus during inclined gaze. Ophthalmic and Physiological Optics 18(4): 351 359, 1998
- Jaschinski, W.: Die Bedeutung von Sehabstand und Blickneigung für individuelle Sehfunktionen und visuelle Ermüdung am Bildschirmarbeitsplatz. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 34: 225-230, 1999
- Jaschinski, W.: Niedrig aufgestellte Flachbildschirme erleichtern die Benutzung von Universal-Gleitsichtbrillen am Bildschirmarbeitsplatz. Zbl. Arbeitsmed. 58: 172 180, 2008
- König, M.; Jaschinski, W.: Individuelle Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes für die Generation 40 plus - ein Beratungskonzept. Angew. Arbeitswiss. : 44-59, 2009
- König, M.; Jaschinski, W.: Eine Feldstudie zur individuellen Bildschirmpositionierung für Brillenträger der Generation 40plus. In: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme - Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit: 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Univ. Kassel, 22.-24.02.2012 (S. 419-422) / GfA, Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. [Schriftlgt.: Martin Schütte]. Dortmund: GfA-Press, 2012.
- Kroemer, K.; Hill, S.: Preferred line of sight angle. Ergonomics 29: 1129 1134, 1986
- Krueger, H.; Hessen, J.; Zülch, J.: Bedeutung der Akkommodation für das Sehen am Arbeitsplatz. Z Arb wiss 36: 159-163, 1982
- Masseur, J.; Philipp, J. J.; Wicher, C.; Jaschinski, W.: Verschiedene Kenngrößen für die physiologisch günstige Kopfneigung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 67, 207-219, 2013
- Meinert, M.; König, M.; Jaschinski, W.: Web-based office ergonomic intervention on work-related complaints: a field study. Ergonomics, published online: 30. September 2013.
- Lehmann, G.; Stier, E.: Mensch und Gerät. In: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin. I. Band: Arbeitsphysiologie. Hrsg. Lehmann, G.; S. 732, Berlin: Urban & Schwarzenberg 1961
- Lie, I.; Fostervold, K. I.: VDT-work with different gaze inclination. In: Grieco, A.; Molteni, G.; Piccoli, B.; Occhipinti, E. (Eds.): Work with display units 94: 137 142, Elsevier Science B.V. 1995
- Meinert, M.; König, M.; Jaschinski, W.: Web-Based Office Ergonomics Intervention on Work-Related Complaints – A Pilot Field Study: Ergonomics, Im Druck 2014.
- Menozi, M.; V. Buol, A.; Itschner, L.; Saluz, L.; Krueger, H.: Die Eignung verschiedener cephalometrischer Bezugslinien für die Bestimmung der vertikalen Ausrichtung des Kopfes. Z. Morph. Anthrop. 81(2): 205-215, 1996
- Menozi, M.; V. Buol, A.; Krueger, H.; Miège, Ch.: Direction of gaze and comfort: discovering the relation for the ergonomic optimization of visual tasks. In: Ophthal. Physiol. Opt. 14: 393 – 399, 1994
- Mon-Williams, M.; Burgess-Limerick, R.; Plooy, A.; Wann, J.: Vertical Gaze Direction and Postural Adjustment: An Extension of the Heuer Model. J. Exp. Psy. 5(1): 35-53, 1999
- Ripple, P. H.: Variation of accommodation in vertical directions of gaze. Am. J. Ophthalm. 35: 1630 1634, 1952
- Schulz, F., Jaschinski, W.: Objektive und subjektive Messungen zur bequemen vertikalen Blickneigung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert. Bericht zum 55. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dortmund, 4. 6. März 2009 (S. 739 742). Dortmund: GfA-Press, 2009
- Sommerich, C. M.; Joines, S. M.; Psihogios, J. P.: Effects of computer monitor viewing angle and related factors on strain, performance, and preference outcomes. Human factors 43(1): 39-55, 2001
- V. Buol, A.: Der Einfluss von Gleitsichtbrillen auf Kopf- und Augenbewegungen. Dissertation, Technische Hochschule, 2002

Anschrift der Verfasser

M.Sc. Judith Masseur
M.Sc. Franziska Perske
Dr.-Ing. Wolfgang Jaschinski
IfADO - Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
Ardeystr. 67
D-44139 Dortmund
E-Mail: jaschinski@ifado.de