

Die visuelle Wahrnehmung der Helligkeit von realen Darstellungen und Visualisierungen von Beleuchtungssimulationsergebnissen

Dipl.-Psych. Jördis Därr
EADS Innovation Works
Simulation, IT & Systems Engineering
D-21129 Hamburg
joerdis.daerr@eads.net

1. Einleitung

Unter einer Simulation wird nach der VDI-Richtlinie 3633 Blatt 11 (Verein Deutscher Ingenieure, 2003) das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell verstanden, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Demnach ist das Ziel einer Simulation die Analyse des (zukünftigen) Systemverhaltens. Da meist hochleistungsfähige Computer für die Simulationen eingesetzt werden, wird auch von Computersimulationen gesprochen. Computersimulationen werden heute in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt.

Seit einigen Jahren wird in der Industrie (Architektur, Automobil- und Flugzeugbau) die Computersimulation, insbesondere die Beleuchtungssimulation, zur Produktentwicklung und Ideenvisualisierung eingesetzt. Der Zweck dieser zeit- und ressourcensparenden Computersimulationen ist es, bereits in frühen Planungsphasen die Entwicklung von Industriegütern zu unterstützen. Der große Vorteil gegenüber realen Modellen, so genannten real Mock-ups (= Attrappe eines technischen Produkts im Maßstab 1:1), besteht darin, dass mit geringem Materialaufwand bereits in der frühen Planungs- und Entwicklungsphase, Entscheidungen über das Design oder Fertigungsmethoden getroffen werden können.

Die Visualisierungen dieser Computersimulationen können auf einem Monitor dargestellt, ausgedruckt oder aber auch in virtuellen Umgebungen (Powerwall, Cave) dargestellt werden. Mit Hilfe dieser Visualisierungstechniken können Fehler oder Probleme in der Entwicklung frühzeitig erkannt und behoben werden.

In der Beleuchtungsplanung werden Visualisierungen von Beleuchtungssimulationsergebnissen zur Bewertung von Beleuchtungsszenarien eingesetzt. Das Ziel einer Untersuchung zu diesem Thema ist es festzustellen, in wie weit diese Bewertungen mit Hilfe von photorealistischen Visualisierungen auch von Laien vorgenommen werden können.

2. Versuchsaufbau und Durchführung

Das zentrale Ziel dieses Experiments ist es herauszufinden, welche Helligkeitsstufe eines Beleuchtungssimulationsergebnisses mit der Helligkeitssituation in einer Experimentalbox für die Versuchsperson (Vp) am besten übereinstimmt und ob diese Beurteilung auch von Laien vorgenommen werden kann. Die Aufgabe für die Vp ist, jeweils die Visualisierung des Beleuchtungssimulationsergebnisses auszuwählen, welches mit der Situation in der Experimentalbox am besten übereinstimmt. Die Vp hat dabei neun Möglichkeiten zur Auswahl, die auf einem CRT-Monitor präsentiert werden. Die Vp soll ihre Auswahl so schnell wie möglich, aber auch so genau wie möglich vornehmen. Die Durchführung des Experiments erfolgt im Einzelversuch.

An der Untersuchung nehmen insgesamt 25 Versuchspersonen (Vpn) teil. Die Stichprobe setzt sich aus vier Frauen (16%) und 21 Männern (84%) zusammen. Das durchschnittliche

Alter der Vpn liegt bei 27,8 Jahren (Standardabweichung (SD) 2,55) und variiert zwischen 24 und 34 Jahren. Der Versuch dauert im Durchschnitt 6,7 Minuten (SD 1,57).

Die Versuche werden im VR-Labor der EADS Forschung am Standort Hamburg durchgeführt. Das Labor ist vor äußeren Lichteinflüssen und Lärm geschützt. In dem Raum befindet sich ein Tisch (H 71, B 160, T 100), auf dem ein CRT-Monitor und die Experimentalbox nebeneinander stehen. Der Tisch ist vollständig mit schwarzem Bühnen-Molton bedeckt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Versuchsaufbau (Digitalfoto)

Das reale Reizmaterial (Standardreiz) wird in einer Experimentalbox dargeboten. Von innen ist die gesamte Experimentalbox mit schwarzem Bühnen-Molton ausgekleidet, um Lichtreflexionen zu verhindern. Oben wird die Lichtquelle, eine Einzellichtleiste der Firma Phillips (TMX 204 LS HFR) mit einem dimmbarem elektronischen Vorschaltgerät und einer Leuchtstoffröhre TL-D18W mit der Lichtfarbe 827, eingelegt.

Bei dem realen Reizmaterial handelt es sich um Proben eines Lining-Materials (Lining, engl. Verkleidung - Innenausstattung), wie es in Flugzeugkabinen eingesetzt wird. Es werden drei Proben ausgewählt, die sich besonders stark in ihrer Farbgebung unterscheiden (A = weiß/dream grey, B = dunkelgrau/foggy, C = braun/porcelain), sie sind 14,8 cm x 14,8 cm groß (siehe Abb. 2). Diese drei Proben sollen jeweils unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen betrachtet werden. Drei geeignete Beleuchtungssituationen werden ausgewählt: Zunächst eine schwache Beleuchtungsstärke mit 150 Lux (Beleuchtungssituation 1), eine mittlere Stärke mit 333 Lux (Beleuchtungssituation 2) und die volle Stärke mit 540 Lux (Beleuchtungssituation 3) in der Experimentalbox, gemessen am Standort der Materialprobe.

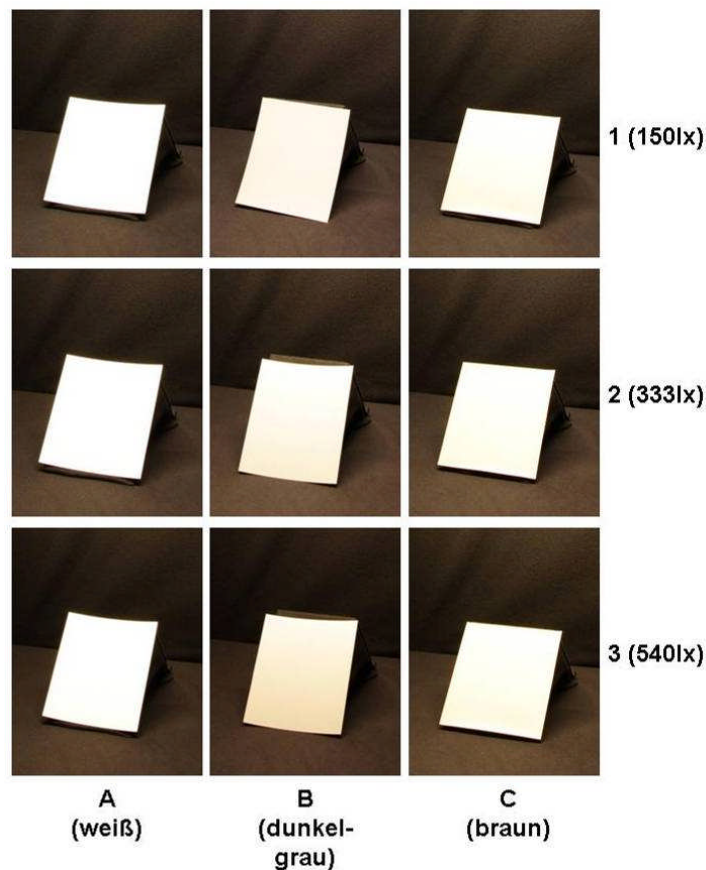


Abbildung 2: reales Reizmaterial (Digitalfoto)

Bei dem virtuellen Reizmaterial (Vergleichsreiz) handelt es sich jeweils um neun Visualisierungen eines Beleuchtungssimulationsergebnisses der realen Situation (Abb. 3). Die Simulationsergebnisse stimmen physikalisch mit dem realen Reiz überein. Sie werden mit der Software Specter der Firma Integra Inc. (www.integra.jp) erzeugt; die Werte der lichttechnischen Vermessung der realen Probe werden als Materialkennwerte benutzt. Die Beleuchtungssimulationsergebnisse werden auf einem CRT-Monitor abgebildet. Der CRT-Monitor verfügt über eine Bildschirmdiagonale von 19 Zoll und einer Bildschirmauflösung von 1280x1024 Pixel. Außerdem ist der Bildschirm mit einer Blende versehen, damit kein Monitorlicht in die Box eindringen kann.

Die neun Visualisierungen eines Beleuchtungssimulationsergebnisses variieren in ihrer Helligkeit. Die berechneten Helligkeitswerte werden durch Konvertierung auf darstellbare RGB-Werte umgewandelt. Dazu ist jeweils ein Helligkeitswert für Schwarz und Weiß anzugeben. Der Schwarzwert RGB[0;0;0] wird mit 0 cd/m² konstant gehalten, wohingegen der Weißwert RGB[255;255;255] systematisch variiert wird. Zwischen Schwarz- und Weißwert werden die Graustufen über die Helligkeit linear interpoliert. Außerdem wird noch ein HDRI (high dynamic range image) mit in die Untersuchung aufgenommen.

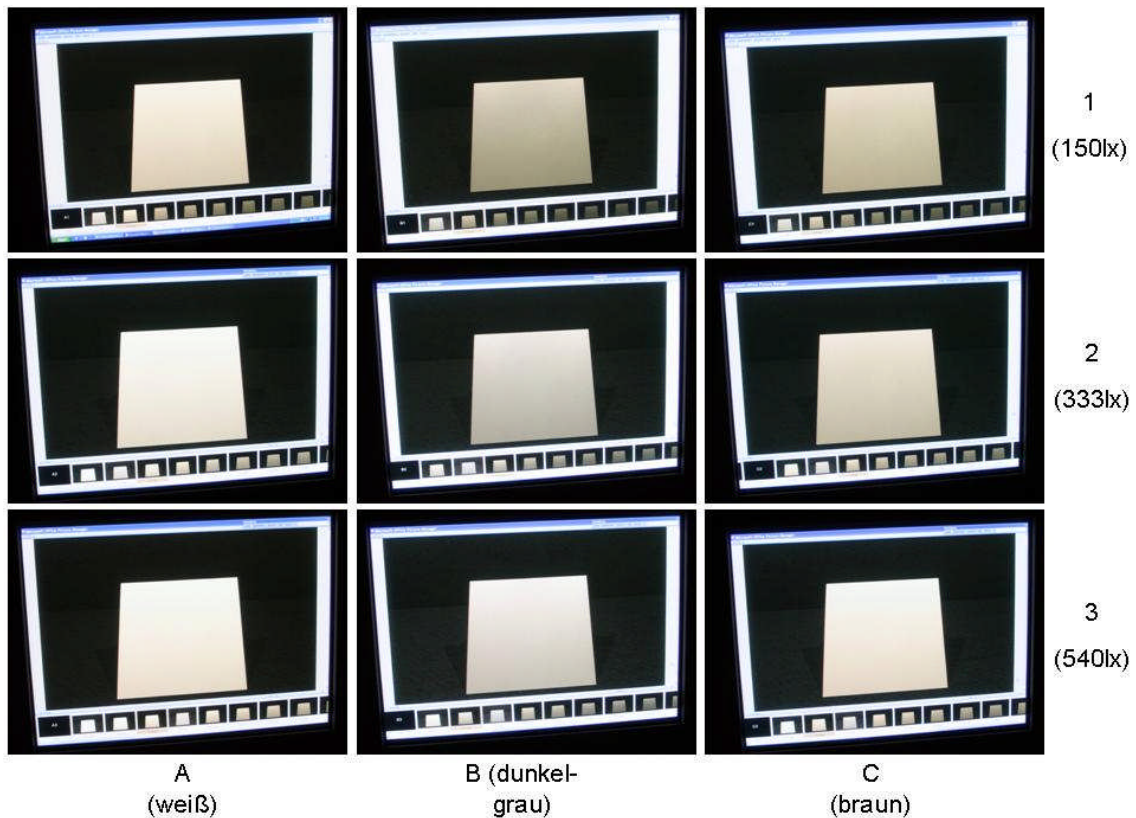


Abbildung 3: Monitordarstellungen der neun Situationen (Digitalfoto)

Die visuellen Reize werden der sitzenden Vp in Augenhöhe, als Simultanvergleich, dargeboten. Die Sitzhöhe wird pro Vp individuell angepasst, damit jede Vp den gleichen Sehstand und Augenhöhe hat. Die Reihenfolge der neun verschiedenen Situationen in der Box ist für alle Vpn gleich.

Außerdem wird der Versuchsaufbau mit einer Leuchtdichtekamera (LMK mobile advanced; Digitale Spiegelreflexkamera Canon EOS 350D, Objektiv SIGMA 18-50mm F2.8 EX DC) vermessen. Die Position der Kamera entspricht dabei der Sitzposition der Vp.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Beleuchtungssituationen

Wie der Abbildung 4 zu entnehmen ist, wird die virtuelle Darstellung der drei Materialproben (weiß, grau, braun) unter der Beleuchtungssituation 1 (150 lx) mit einem Weiß-Wert von 50 am häufigsten gewählt.

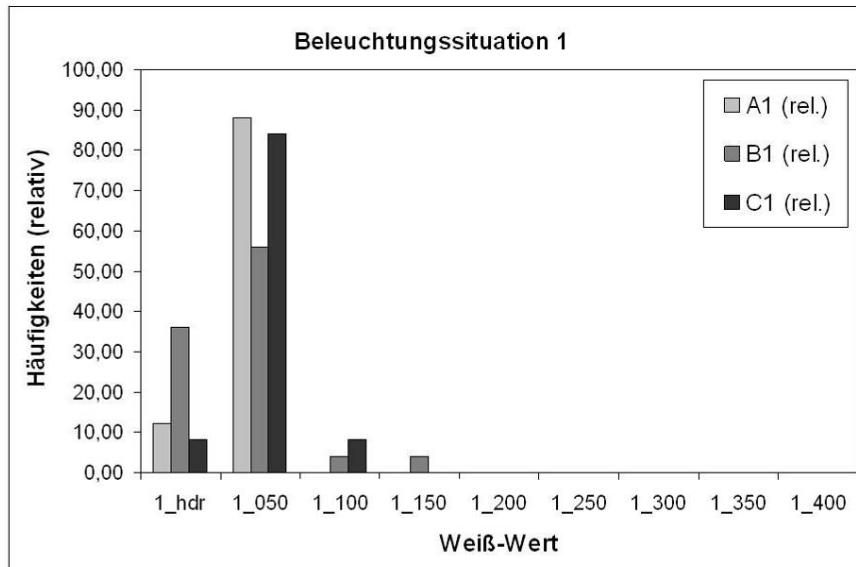


Abbildung 4: relative Häufigkeiten der Beleuchtungssituation 1

Abbildung 5 ist zu entnehmen, dass die virtuellen Darstellungen mit einem Weiß-Wert von 100 unter der Beleuchtungssituation 2 (333 lx) am häufigsten gewählt werden. Für die Situation B2 ist das Ergebnis jedoch nicht ganz eindeutig.

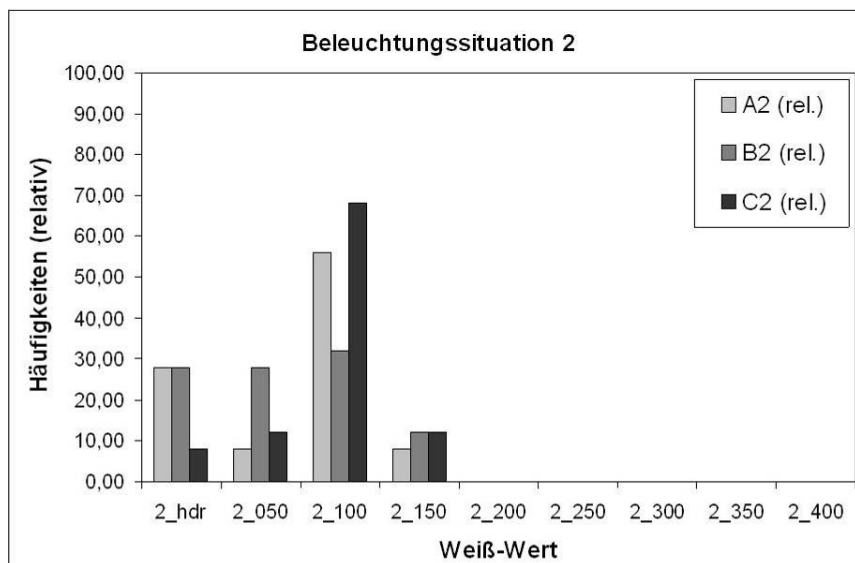


Abbildung 5: relative Häufigkeiten der Beleuchtungssituation 2

Wie die Abbildung 6 zeigt, sind die Ergebnisse für die Beleuchtungssituation 3 (540 lx) uneinheitlich. Am häufigsten wird die virtuellen Darstellungen der Materialprobe B (grau) und C (braun) mit einem Weiß-Wert von 100 gewählt. Bei der Darstellung der Materialprobe A (weiß) wird die Darstellung mit einem Weiß-Wert von 150 am häufigsten gewählt.

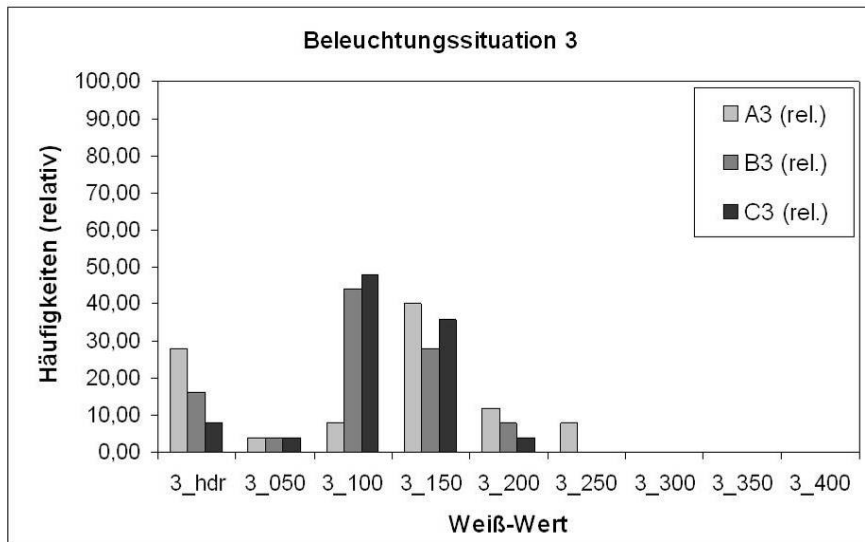


Abbildung 6: relative Häufigkeiten der Beleuchtungssituation 3

3.2 Ergebnisse der Nachbefragung

Auf die Frage „Wie beurteilen Sie die Übereinstimmung der Beleuchtungssituation in der Box mit den Beleuchtungssimulations-Ergebnissen auf dem Monitor, die Sie ausgewählt haben, insgesamt? Auf einer Skala von 1, für sehr schlecht, bis 10, für sehr gut.“ antworten die Vpn folgendermaßen (siehe Abb. 7).

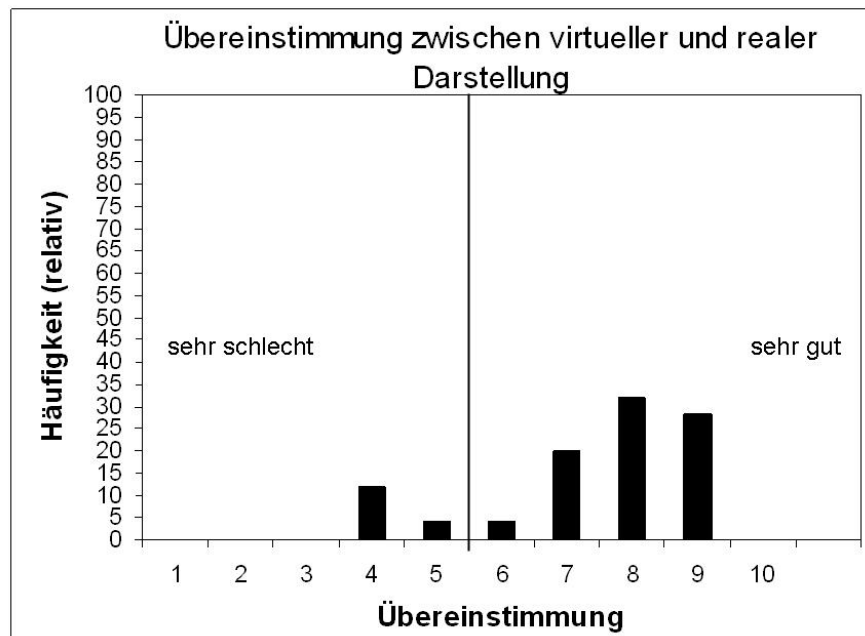


Abbildung 7: Beurteilung der Übereinstimmung

Die Mehrzahl der Befragten (80%) beurteilt die Übereinstimmung der Darstellungen mit 6 oder besser. Aus den insgesamt 25 Beurteilungen ergibt sich ein Mittelwert von 6,4 (SD 1,633). Somit beurteilen die Befragten die Übereinstimmung der Darstellungen insgesamt als gut.

3.3 Ergebnisse des Zusammenhangs

Mit Hilfe eines Fragebogens werden personen- und situationsabhängige Variablen erhoben. Zu den personenabhängigen Variablen zählen: Alter, Sehschwäche, Farbsehschwäche und Kenntnisse über Beleuchtungssimulation.

Das Alter einer Person hat, bedingt durch eine Verschlechterung der Sehfähigkeit mit steigendem Alter, einen Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung (Goldstein, 2001). Doch da es sich um eine relativ junge Gruppe handelt (s.o.), wird hier nicht von einem Einfluss auf die Versuchsergebnisse ausgegangen. Zehn (40%) der 25 Vpn geben an, während der Bildschirmarbeit eine Brille bzw. Kontaktlinsen zu benötigen. Es wird davon ausgegangen, dass das Tragen einer Brille eine vorliegende Sehschwäche ausgleicht und somit keinen Einfluss hat.

Betreffend einer vorliegenden Farbsehschwäche, die die Wahrnehmung der Farbe von Monitorbildern beeinflussen kann, ist festzuhalten, dass lediglich zwei (8%) der 25 Teilnehmer angeben, unter einer Farbsehschwäche (Rot-Grün-Schwäche) zu leiden. Diese Fallzahl ist zu gering, um eine Auswertung vornehmen zu können.

Vorwissen und spezielle Kenntnisse können die visuelle Wahrnehmung ebenfalls beeinflussen (Goldstein, 2001), daher wird geprüft, ob sich die Beurteilungen der Personen, die im Fragebogen angeben, sich mit Beleuchtungssimulation auszukennen, von denen der Laien unterscheiden. Auf die Frage, ob sich die Vp mit Beleuchtungssimulationen auskennt bzw. selbst welche durchführt, geben fünf (20%) der Vpn an, sich mit Beleuchtungssimulationen auszukennen bzw. selbst welche durchzuführen.

Der Zusammenhang wird mit dem Zusammenhangsmaß Cramer's V ($V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N * \min(r-1, c-1)}}$) berechnet (N=25, zweiseitig, $\alpha=0,05$). Bei einem Cramer's V-

Wert ab 0,4 wird von Signifikanz ausgegangen. Bei der Analyse wird deutlich, dass für die Situationen A1 (V=0,43), B1 (V=0,43), A3 (V=0,43), B3 (V=0,40) und C3 (V=0,58) ein statistischer Zusammenhang angenommen werden kann.

In dem Fragebogen werden auch situationsabhängige Variablen erhoben. Zum einen wird gefragt, wie viele Stunden die Vp am Tag der Untersuchung bereits vor einem Computermonitor gearbeitet hat. Zum anderen wird festgehalten zu welcher Tageszeit (Vor- oder Nachmittag) die Vp an der Untersuchung teilnimmt. Es gibt Hinweise darauf, dass lang andauernde Monitorarbeit zu einer Ermüdung führt (Ziefle, 2002) und somit die visuelle Wahrnehmung beeinflusst. Zu der Ermüdung kommt es u. a. durch schlechte Leuchtdichtecontrasten zwischen Zeichen und dem Hintergrund oder durch große Leuchtdichteunterschiede zwischen Monitor und Umgebung (Ziefle, 2002).

Zunächst wird der statistische Zusammenhang zwischen der Ermüdung durch Monitorarbeit und den gewählten Simulationen betrachtet. Von den 25 Vpn geben sechs an, zwischen 0,5 und 2,5 Stunden Monitorarbeit geleistet zu haben, 12 Vpn geben an, 3,0 bis 4,5 Stunden gearbeitet zu haben, und sieben Personen geben 5,0 bis 7,0 Stunden an (insgesamt: MW 3,6 Std.; SD 1,726). Die Analyse ergibt, dass zwischen der Anzahl der Stunden, die die Vp bereits vor einem Monitor gearbeitet hat und ihrer Auswahl der Simulationsergebnisse für die Beleuchtungssituationen B1 (V=0,41), B2 (V=0,45), A3 (V=0,45), B3 (V=0,44) und C3 (V=0,55) ein statistischer Zusammenhang besteht.

Weiterhin wird geprüft, ob zwischen der Tageszeit, an der die Untersuchung durchgeführt wird, und der Wahl der Simulationsergebnisse ein Zusammenhang besteht. 12 der 25 Vpn nehmen am Vormittag an dem Experiment teil und 13 Vpn am Nachmittag. Es ergibt sich ein statistischer Zusammenhang für die Situationen B1 (V=0,47) und A3 (V=0,62).

3.4 Ergebnisse der Leuchtdichtemessung

Neben der subjektiven Beurteilung der Visualisierungen der Beleuchtungssimulationsergebnisse durch die Vpn erfolgt eine Messung des Versuchsaufbaus mit einer Leuchtdichtekamera. Die Ergebnisse der Leuchtdichtemessung sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Skala gibt die Farbwerte für die Leuchtdichtewerte wieder (schwarz-blau = 0-20 cd/m²; blau-grün = 21-49 cd/m²; grün-rot = 50-77 cd/m²; rot-gelb = 78-91 cd/m²; gelb-weiß = 92-100 cd/m²).

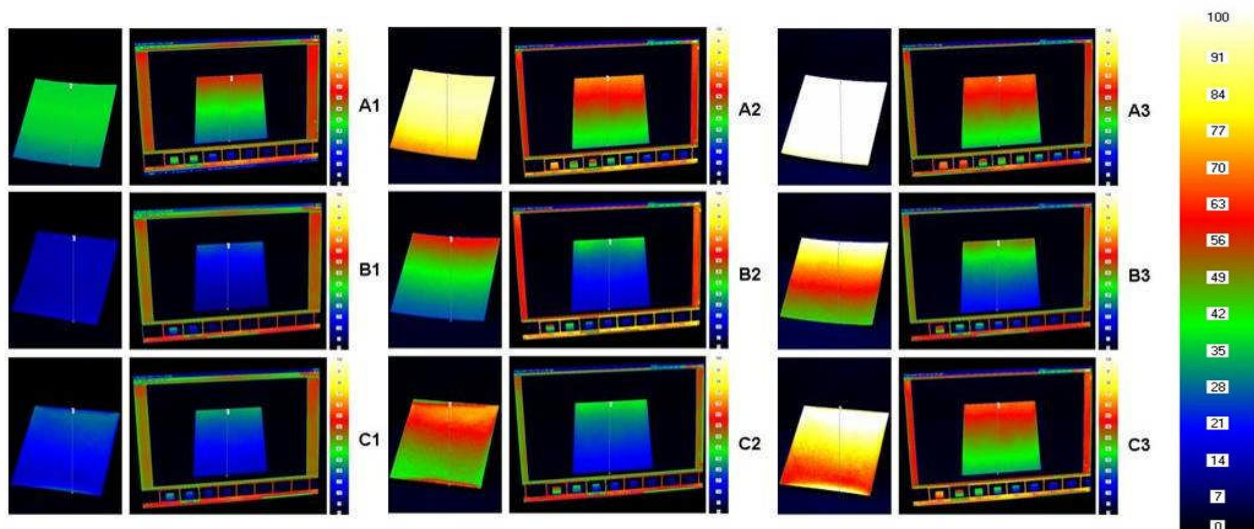


Abbildung 8: Ergebnisse der Leuchtdichtemessung für die neun Situationen

Es zeigt sich, dass für die Situationen A1, B1 und C1 (dunkelste Beleuchtungssituation) gute bis sehr gute Übereinstimmungen der Leuchtdichtewerte für die Experimentalbox und die Darstellung auf dem Monitor bestehen. Für die weiteren Situationen, die mittlere und hellste Beleuchtungssituation, ergeben sich nicht eindeutige Ergebnisse. Die Auswertung von Situation 3 zeigt, dass hier eine geringe Übereinstimmung besteht. Für die mittlere Helligkeitssituation (Beleuchtungssituation 2) ergibt sich ein ähnliches Bild. Jedoch ist die Übereinstimmung der Leuchtdichte etwas besser als in der Beleuchtungssituation 3.

4. Interpretation

Wie aufgezeigt wurde, sind in der ersten Beleuchtungssituation, d.h. in der dunkelsten, fast ausschließlich die Darstellungen gewählt worden, die einen Weißwert von 50 haben, d.h. sehr hell sind. In der zweiten Beleuchtungssituation, die eine mittlere Helligkeit aufwies, wurden am häufigsten die Darstellungen ausgewählt, die einen Weißwert von 100 haben, also dunkler sind als die Darstellungen mit einem Weißwert von 50. In der dritten Beleuchtungssituation schließlich, d.h. der hellsten Situation, wurden am häufigsten die Darstellungen gewählt, die einen Weißwert von 100 oder 150 haben, also relativ dunkel sind. Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Vp in der Beleuchtungssituation 3 nicht einheitlich gewählt haben.

Resümierend kann festgehalten werden, umso heller die Beleuchtungssituation ist, desto dunklere Simulationsergebnisse (höherer Weißwert) wurden von den Vpn subjektiv ausgewählt. Die Graphik 9 veranschaulicht diesen Zusammenhang.

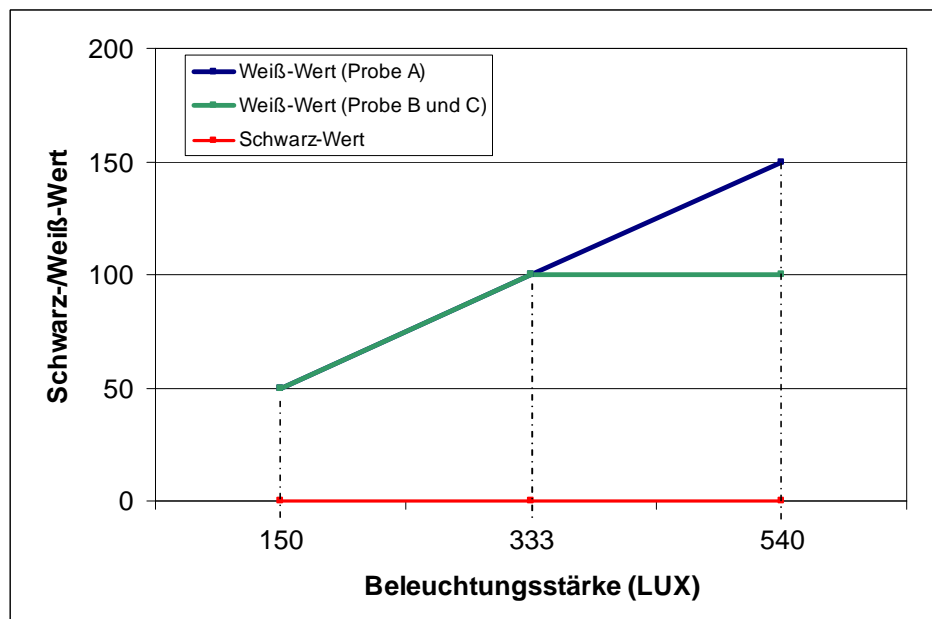


Abbildung 9: Zusammenhang Schwarz-/Weiß-Wert und Beleuchtungsstärke (LUX)

Insgesamt beurteilten die Vpn die Übereinstimmung zwischen den von ihnen gewählten Darstellungen und der Situation in der Box als gut (MW 6,4; SD 1,633). Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Vpn mit ihrer Auswahl der Simulationsergebnisse zufrieden waren. Allerdings lässt sich auch ableiten, dass die Darstellung der Simulationsergebnisse noch weiter verbessert werden müssen.

Die Auswertung des Zusammenhangsmaßes, sowohl für die personenabhängigen als auch für die situationsabhängigen Variablen, hat ergeben, dass für einige Situationen ein statistischer Zusammenhang besteht. Besonders für die Beleuchtungssituation 3 (540 Lux) ergaben sich kontinuierlich statistische Zusammenhänge für die Variablen „Kenntnis über Beleuchtungssimulation“ und „Ermüdung der Vp (Monitorstunden und Tageszeit)“. Auf Grund der geringen Versuchspersonenanzahl ist jedoch zu beachten, dass diese Ergebnisse nicht repräsentativ sind.

Den Experten, d.h. die Personen die angaben sich mit Beleuchtungssimulationen auszukennen, fiel die Beurteilung der virtuellen Darstellung leichter, als den Laien. Dennoch sind Laien in der Lage eine recht genaue Beurteilung vorzunehmen.

Bei der Analyse der Leuchtdichtemessungen wurde deutlich, dass für die Beleuchtungssituation 3 nur eine geringe Übereinstimmung zwischen der Helligkeit des Monitors und der Helligkeit in der Box vorliegt. Dies geht einher mit der Beurteilung durch die Vpn. Die Ursache dafür, dass die Vpn in der Beleuchtungssituation 3 uneinheitlich geurteilt haben, könnte darin bestehen, dass die Helligkeit der Monitordarstellungen in dieser Situation nur schlecht mit der Helligkeit in der Experimentalbox übereinstimmte und somit den Vpn eine Beurteilung erschwerte. Daraus lässt sich ableiten, dass Monitordarstellungen für solch helle reale Darstellungen nicht geeignet sind. Die Gründe dafür liegen in der technischen Beschränktheit der heutigen Monitore.

5. Fazit

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Versuchsaufbau und das Versuchsdesign für Untersuchungen zur Wahrnehmung von realen und virtuellen Darstellungen geeignet sind. Des Weiteren hat die Analyse ergeben, dass auch Laien Beurteilungen von photorealisti-

schen Visualisierungen vornehmen können. Jedoch zeigte sich, dass die Experten zu einer etwas differenzierteren Beurteilung in der Lage sind.

Weiterhin wurde deutlich, dass der CRT-Monitor keine ausreichenden Helligkeiten erzeugen kann und den Betrachtern somit eine Beurteilung, besonders in der Beleuchtungssituation 3, erschwerte.

Daraus ist für die Zukunft ableitbar, dass bei der Darstellung von Visualisierungen ein Darstellungsmedium herangezogen werden sollte, welches in der Lage ist, die Helligkeiten der realen Situation wiederzugeben. Dadurch kann die Aussagekraft von Visualisierungen von Beleuchtungssimulationsergebnissen erhöht werden.

6. Literatur

Goldstein, E. B. (2001). Wahrnehmungspsychologie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Ziefle, M. (2002). Lesen am Bildschirm: Eine Analyse visueller Faktoren. Münster; New York; München; Berlin: Waxmann.

VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (Hrsg.) (2003). VDI 3633 Blatt 11: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Simulation und Visualisierung.

Anschrift der Autorin

Dipl.-Psych. Jödis Därr
EADS Innovation Works
Simulation, IT & Systems Engineering
Neßpriel 1
21129 Hamburg