

## **Lichtrichtung und Schattigkeit beeinflussen visuomotorische Leistung**

*Krüger, J., Windel, A.*

*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dresden/Dortmund  
krueger.jan@baua.bund.de*

### **Abstract**

Im Rahmen einer Vorversuchsreihe wurde der Einfluss von Lichtrichtung und Schattigkeit auf die visuomotorische Leistung bei industriellen Arbeitsaufgaben untersucht. In einer Serie von 4 Teilaufgaben sollten Versuchspersonen kleine Stifte in vorgefertigte Löcher eines Steckbrettes platzieren sowie Baugruppen aus Stiften, Hülsen und Unterlegscheiben zusammenstecken (Purdue Pegboard Test (Tiffin and Asher, 1948)). 11 Versuchspersonen durchliefen die Arbeitsaufgabe bei unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen, in denen Lichtrichtung und Schattigkeit verändert wurden. Zusätzlich zur Beleuchtung wurde die räumliche Tiefenwahrnehmung mithilfe einer Augenklappe variiert (binokulares Sehen vs. monokulares Sehen). Aufgrund der Tatsache, dass Schatten wichtige Informationen für die Planung motorischer Handlungen beinhalten (Bonfiglioli and Pavani, 2004), wurde ein Modell entwickelt, welches die Wirkung von Schatten auf die visuomotorische Leistung erklären soll. Im Ergebnis zeigte sich verminderte motorische Leistung bei diffuser Beleuchtung sowie bei gerichtetem Licht mit Mehrfachschatten. Die Ergebnisse sind von Relevanz für die Beleuchtung von Montagearbeitsplätzen in der Industrie.

### **Einleitung**

Schlagschatten sowie Schattierungen beinhalten visuelle Informationen, die für eine motorische Handlungsausführung, z.B. den Zusammenbau einer Baugruppe, von Bedeutung sein können (Bonfiglioli and Pavani, 2004). Unterschieden werden müssen hierbei Schlagschatten von Objekten, Schattierungen auf Objekten sowie Schlagschatten der eigenen Gliedmaßen (z.B. der Hände).

Schattierungen auf Objekten beinhalten Informationen über die Objektform (Shape from shading).

Schlagschatten von Objekten geben Tiefeninformationen über die Szene sowie Informationen über die räumliche Einbettung des Objekts in die Szene (Allen, 1999). Beispielsweise stellt der projizierte Schlagschatten einen starken Reiz für den Abstand zwischen Projektionsfläche und Schatten werfendem Objekt dar. Außerdem enthält der Schlagschatten Informationen darüber, wie weit sich ein Objekt vom Beobachter entfernt befindet (Mamassian et al., 1998).

Neben den Schlagschatten von Objekten analysiert das visuelle System die Schlagschatten der eigenen Hände zur Positionierung in einer Szene. Mithilfe von neurologischen Untersuchungen konnten Sartori und Castiello (Sartori and Castiello, 2013) darlegen, dass die Erregung der Handmuskulatur sich in Abhängigkeit vom Schlagschatten der Hand verändert. In Ergänzung dazu zeigen die Ergebnisse von Galfano und Pavani (Galfano and Pavani, 2005, Pavani and Galfano, 2007), dass Schatteninformationen unmittelbar die Handlung beeinflussen. Galfano und Pavani machen darauf aufmerksam, dass Schlagschatten der eigenen Hände

Informationsquellen für taktiles Handling sein können und eine Art Handlingkontrolle hervorrufen.

Neben den Tiefeninformationen, die aus den Schatten abgeleitet werden können, stehen dem visuellen System weitere Informationsquellen über das dreidimensionale Layout zur Verfügung (Knill, 2005). Generell zählt das Stereosehen als wichtigste Informationsquelle bei der Greifbewegung. Nach Knill integriert das visuelle System die Informationen unterschiedlicher Informationspfade (Stereosehen, Schattierungen, Schlagschatten u.a.) und leitet daraus eine Unsicherheit ab, die sich in der Griffweite der Finger widerspiegelt. Watt und Bradshaw vermuten, dass das visuelle System bei fehlenden visuellen Informationen einen Sicherheitspuffer bei der Öffnungsweite einplant (Watt and Bradshaw, 2000). Eine große Anzahl von redundanten Tiefeninformationen resultiert dann in einer kleineren Griffweite, wohingegen die Unsicherheit bei wenig redundanten Tiefeninformationen durch eine größere Griffweite kompensiert wird (Keefe et al., 2011).

Aus diesen Vorüberlegungen wird die Hypothese abgeleitet, dass fehlende oder irreführende Schatteninformationen in einer größeren Griffweite und damit in einer längeren Handlungsausführung resultieren. In der Folge verringert sich die motorische Leistung.

## **Methode**

Der Purdue Steckbrett Test (Tiffin and Asher, 1948) ist ein Verfahren zur Bestimmung der Handgeschicklichkeit. Ursprünglich wurde der Test zur Personalauswahl in der Elektro- und Fabrikarbeit eingesetzt. Der Test ist aus einer Serie von vier Teilversuchen aufgebaut, in welchen Versuchspersonen die Aufgabe haben, kleine Stifte in vorgefertigte Löcher einzustecken. Teilversuch 1 umfasst das Einstecken von Stiften mit der linken Hand, Teilversuch 2 mit der rechten Hand und Teilversuch 3 mit beiden Händen gleichzeitig. Im vierten Teilversuch hat die Versuchsperson die Aufgabe, Baugruppen aus Stiften, Hülsen und Unterlegscheiben zusammenzubauen. Als Maß für die motorische Leistung wird die Anzahl der gesteckten Stifte für ein festgelegtes Zeitintervall (30 Sek. bzw. 1 Min.) ermittelt. Um Lerneffekte während der Wiederholung der Arbeitsaufgabe zu vermeiden, wurde der Test vor Beginn des Versuches einmal von jeder Versuchsperson durchgeführt.

Zur Ermittlung des Einflusses der Beleuchtung auf die visuomotorische Leistung durchliefen die Versuchspersonen den Purdue Steckbrett Test bei 4 unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen. Die Kopfposition wurde dabei mithilfe einer Kinnstütze fixiert. Um mögliche Überlagerungen von Effekten der Beleuchtung mit Effekten des Stereosehens näher betrachten zu können, wurden zusätzlich zur Beleuchtung zwei Sehbedingungen (binokulares Sehen und monokulares Sehen) in das Versuchsdesign aufgenommen. 6 Versuchspersonen bearbeiteten den Test bei vier Beleuchtungssituationen mit einer Augenklappe (monokulares Sehen), wohingegen weitere 5 Versuchspersonen die Beleuchtungssituationen ohne Augenklappe durchliefen (binokulares Sehen). Die Beleuchtungsbedingungen wurden qualitativ nach ihrer Schattigkeit unterschieden. Beleuchtungssituation 1 beinhaltete diffuses Licht von Leuchtstoffleuchten, welche einen weichen Schatten der Hände erzeugten. Beleuchtungssituation 2 wurde von einem einzelnen LED-Spotlight erzeugt. Der Schlagschatten der Hände zeigte dabei keine Mehrfachschatten, sondern lediglich einen scharfen Einzelschatten. Beleuchtungssituationen 3 und 4 wurden mithilfe mehrerer LED-Spotlights erzeugt, wobei sich scharfe Mehrfachschatten bildeten. Einziger Unterschied zwischen den Beleuchtungssituationen 3 und 4 war die Anzahl der Leuchten, aus denen sich der Mehrfachschatten aufbaute. In Beleuchtungssituation 3 wurde der Mehrfachschatten

von 5 Leuchten erzeugt, wohingegen in Beleuchtungssituation 4 die Mehrfachschatten von 10 Leuchten aufgebaut wurden. Während der Versuchsdurchführung wurde die Reihenfolge der Beleuchtungssituationen randomisiert. Das nachfolgende Bild zeigt den Schlagschatten der Hände in Beleuchtungssituation 4.



**Abbildung 1:** Mehrfachschatten in Beleuchtungssituation 4

Die mittlere Leuchtdichte und Gleichmäßigkeit im Bereich des Steckbretts wurde für alle Beleuchtungsbedingungen konstant gehalten (ca.  $500 \text{ cd/m}^2$ ). Das Beleuchtungsniveau betrug in allen Beleuchtungssituationen ca.  $1900 \text{ lx}$ . Mit einer Anordnung der Leuchten außerhalb des Gesichtsfeldes der Probanden konnten störende Blendungswirkungen vermieden werden. Weiterhin wurde die Lichtrichtung in allen Beleuchtungssituationen derart eingestellt, dass die Schlagschatten beider Hände immer in das Zentrum der Sehaufgabe projiziert wurden. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Schlagschatten bei Durchführung der Arbeitsaufgabe unabhängig von linker oder rechter Hand, immer in den Zielbereich der Arbeitsaufgabe fallen.

### **Ergebnisse**

Für alle Analysen wurden parametrische Testverfahren ausgewählt.

Geprüft wurden mögliche Haupteffekte der Sehbedingung (Mono/Stereo) sowie Haupteffekte der Beleuchtung. Die einfaktorielle Varianzanalyse mit der Sehbedingung als Faktor ergab keine Unterschiede für die motorische Leistung bei den unterschiedlichen Lichtbedingungen.

Der t-Test für verbundene Stichproben zeigte bei unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen signifikante Unterschiede in der motorischen Leistung. Diese Unterschiede erreichten jedoch nur für das beidhändige Einstecken von Stiften Signifikanz ( $p = 0,024$ ). Außerdem zeigte sich ein nicht signifikanter Trend ( $p = 0,095$ ) zwischen leichten Mehrfachschatten (Beleuchtungssituation 3) und direkter Beleuchtung. Keine Unterschiede ergaben sich zwischen den Mehrfachschattensituationen und dem diffusen Licht.

Neben den Haupteffekten traten signifikante Interaktionen zwischen der Beleuchtung und der Sehbedingung (Mono/Stereo) auf. Für den Zusammenbau der Baugruppe aus Stiften, Unterlegscheiben und Hülsen zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen direkter und leichter Mehrfachschattenbeleuchtung (Beleuchtungssituation 3) in Abhängigkeit von der Sehbedingung ( $p = 0,037$ ). Geprüft wurde ein lineares

Modell für Messwiederholungen, welches die Faktoren Beleuchtung und Sehbedingung als Zwischensubjektfaktoren beinhaltet.

## **Diskussion**

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass Mehrfachschatten vom visuellen System ähnlich wie weiche Schatten von diffusem Licht behandelt werden. Die Ergebnisse sind konsistent mit den Annahmen von Keefe (Keefe et al., 2011), der beschreibt, dass eine Reduzierung von Tiefeninformationen in einer größeren Unsicherheit für die Tiefenwahrnehmung resultiert, welche sich wiederum in einer größeren Griffweite und verlangsamten Hinlangbewegung widerspiegelt. Für den vorliegenden Versuch könnte dies bedeuten, dass die weichen Schatten von diffusem Licht sowie die unnatürlichen Mehrfachschatten von LED-Leuchten nicht als Tiefeninformationen vom visuellen System anerkannt wurden. Die fehlende Tiefeninformation des Schlagschattens resultierte in einer größeren Unsicherheit für die Handlungsausführung, wobei das motorische System einen größeren Sicherheitspuffer bei Greifweite und Hinlangbewegung einplante. Dieser Sicherheitspuffer wurde im Rahmen des Versuches durch die Anzahl der eingesteckten Stifte quantifiziert. Im Vergleich zur diffusen und Mehrfachschattenbeleuchtung reduzierte die direkte Beleuchtungssituation die motorische Leistung nicht. Generell interessant erscheint die Tatsache, dass die Wirkung der Sehbedingung (Mono/Stereo) einen geringeren Effekt hatte als die Beleuchtung. Den Ergebnissen zur Folge erzeugt die Beleuchtung stärkere Reize für die Tiefenwahrnehmung als das Stereosehen. Für die Interpretation muss allerdings beachtet werden, dass Ergebnisse mit diesem Stichprobenumfang nicht belastbar sind. Aus den Ergebnissen wird folgendes Modell „zum Einfluss von Schatten auf die visuomotorische Leistung“ abgeleitet.

## **Modellvorstellung**

Für die motorische Handlungsausführung sind in erster Linie die Eigenschaften des zu manipulierenden Objektes (z. B. Bauteil) von Interesse. Die Eigenschaften des Objekts können in zwei Kategorien aufgeteilt werden:

- intrinsische Objekteigenschaften: z. B. Objektform, Textur, Material, Gewicht
- extrinsische Eigenschaften: z. B. Orientierung, Anordnung, Abstand zu benachbarten Objekten (Einbettung in das räumliche Layout)

Des Weiteren müssen für die Handlungsausführung zwei Bewegungsarten unterschieden werden:

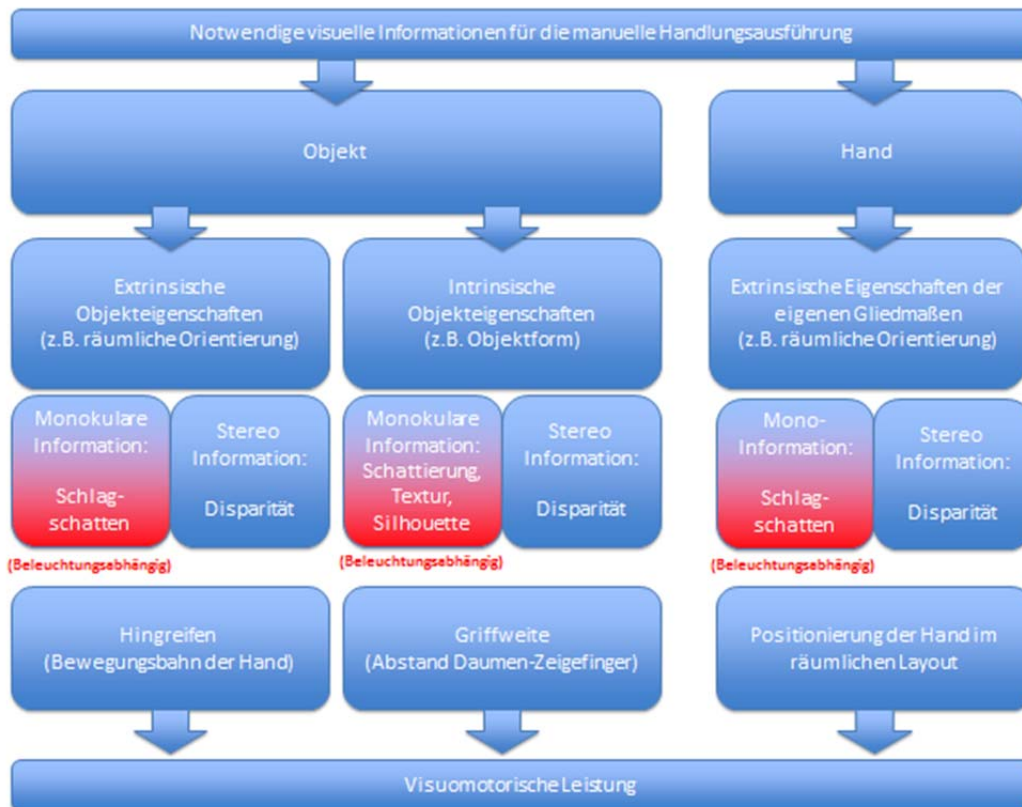
- Greifen: z. B. Abstandsveränderung zwischen Daumen und Zeigefinger
- Hinlangen: z. B. Bewegungsbahn des Arms zum Objekt, Bewegungsgeschwindigkeit des Arms

Jede der beiden Objekteigenschaften besitzt eine Relevanz für jeweils einer der genannten Bewegungsarten. Beispielsweise besitzen die intrinsischen Objekteigenschaften wie die Objektform Relevanz für den Greifvorgang. Die Objektform bestimmt den Abstand zwischen Daumen und Zeigefinger während des Greifvorgangs. Die extrinsischen Eigenschaften hingegen sind für das Hinlangen von Bedeutung. Zum Hinlangen werden Informationen benötigt, welche die räumliche Einbettung des Objekts in die Szene beschreiben, z. B. Abstand und Lage des Objekts.

Interessant ist nun die Tatsache, dass Schlagschatten sowie Schattierungen Informationen über extrinsische als auch über intrinsische Objekteigenschaften beinhalten. Beispielsweise geben Schlagschatten Informationen über die Entfernung (Mamassian et al., 1998), Bewegung (Kersten et al., 1996, Katsuyama et al., 2011) oder Abstand zwischen Objekten (Allen, 1999). Weiterhin trägt die Schattierung von

Objekten (Shape from Shading) zur Formwahrnehmung bei (Kleffner and Ramachandran, 1992, Schofield et al., 2013, van Doorn et al., 2011).

Dieser Argumentationslinie folgend, kann mithilfe der Beleuchtung die Wahrnehmung der intrinsischen und extrinsischen Objekteigenschaften beeinflusst werden, welche wiederum auf die Handlungsausführung zurückwirken (Bonfiglioli and Pavani, 2004). In Ergänzung dazu können die Schlagschatten der eigenen Gliedmaßen motorische Handlungen beeinflussen.



**Abbildung 2:** Modell zum Einfluss Schatten auf visuomotorische Leistung – Objekte besitzen extrinsische und intrinsische Eigenschaften, die Wahrnehmung dieser Eigenschaften kann von mehreren visuellen Reizen abhängen, wobei einige direkt von der Beleuchtung beeinflusst werden. In der Folge erzeugt die Veränderung visueller Reize Rückwirkungen auf Handlungskomponenten, wie Hinlangen oder Zugreifen und beeinflusst damit visuomotorische Leistung.

### Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse auf eine Bedeutung der Schattigkeit für die visuomotorische Leistung hindeuten. Ein möglicher Zusammenhang wäre insbesondere für manuelle Montagetätigkeiten an industriellen Arbeitsplätzen relevant. Beleuchtungsbedingungen mit überwiegend diffusem Licht sowie Beleuchtung mit starken Mehrfachschatten könnten die Arbeitsleistung beeinträchtigen. Nach bestem Gewissen sind den Autoren keine Studien bekannt, in denen ein Einfluss von Lichtrichtung und Schattigkeit auf die visuomotorische Leistung im industriellen Setting untersucht wurde. Lediglich eine Veröffentlichung von Lindner untersuchte den Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die visuomotorische Leistung (Lindner, 1976). Weiterführende Untersuchungen werden daher als sinnvoll angesehen.

## Literatur

- Allen B. P. (1999) Shadows as sources of cues for distance of shadow-casting objects. *Percept Mot Skills*, 89(2): 571-584.
- Bonfiglioli C. & Pavani F. (2004) Differential effects of cast shadows on perception and action. *Perception*, 33: 1291-1304.
- Galfano G. & Pavani F. (2005) Long-lasting capture of tactile attention by body shadows. *Experimental Brain Research*, 166: 518-527.
- Jackson S. R., Newport R. & Shaw A. (2002) Monocular vision leads to a dissociation between grip force and grip aperture scaling during reach-to-grasp movements. *Curr Biol*, 12(3): 237-240.
- Katsuyama N., Usui N., Nose I. & Taira M. (2011) Perception of object motion in three-dimensional space induced by cast shadows. *NeuroImage*, 54: 485-494.
- Keefe B. D., Hibbard P. B. & Watt S. J. (2011) Depth-cue integration in grasp programming: no evidence for a binocular specialism. *Neuropsychologia*, 49(5): 1246-1257.
- Kersten D., Knill D. C. & Mamassian P. (1996) Illusory motion from shadows. *Nature*, 379: 31-31.
- Kleffner D. A. & Ramachandran V. S. (1992) On the perception of shape from shading. *Perception & Psychophysics*, 52(1): 18-36.
- Knill D. C. (2005) Reaching for visual cues to depth: the brain combines depth cues differently for motor control and perception. *J Vis*, 5(2): 103-115.
- Lindner H. (1976) Einfluss des Beleuchtungsniveaus auf visuell-motorische Leistungen. *Lichttechnik*, 28. Jahrgang(7): 299-305.
- Mamassian P., Knill D. C. & Kersten D. (1998) the perception of cast shadows. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(8): 288-295.
- Pavani F. & Galfano G. (2007) Self-attributed body-shadows modulate tactile attention. *Cognition*, 104: 73-88.
- Sartori L. & Castiello U. (2013) Shadows in the mirror. *Neuroreport*, 24(2): 63-67.
- Schofield A. J., Sun P. & Mazzilli G. (2013) Observations on Shape-from-Shading in Humans. In: S. J. Dickinson & P. Zygmunt (eds.), *Shape Perception in Human and Computer Vision - An Interdisciplinary Perspective*. London: Springer.
- Tiffin J. & Asher E. I. (1948) The Purdue Pegboard: Norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology*, 32: 234-247.
- van Doorn A. J., Koenderink J. J. & Wagemans J. (2011) Light fields and shape from shading. *Journal of Vision*, 11(3)(21): 1-21.
- Watt S. J. & Bradshaw M. F. (2000) Binocular cues are important in controlling the grasp but not the reach in natural prehension movements. *Neuropsychologia*, 38(11): 1473-1481.