

Modell zur Beanspruchungsregulation bei schlechter Beleuchtung

Jan Krüger¹; Christoph Schierz²

¹ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fabricestraße 8, 01099 Dresden

² TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Dissertation am Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau (Krüger, 2018) wurde für das Feld der Beleuchtung erstmals ein Regelkreismodell zur Beanspruchungsregulation bei ungünstigen Beleuchtungsbedingungen eingeführt. Das Modell erklärt Auswirkungen visueller Beanspruchung auf die Leistung und beschreibt Kompensationsstrategien wie Leistungs- und Beanspruchungskompensation, Folgeerscheinungen von Ermüdung sowie Leistungsreduktion in sekundären Aufgaben. Das Modell wurde anhand von Laborversuchen abgeleitet und soll im Tagungsbeitrag bewertet werden. Im Rahmen einer Literaturanalyse wurde hierzu die Übertragbarkeit dieses Modells auf ausgewählte Studien überprüft, in denen objektive Leistungsparameter in Abhängigkeit der Beleuchtung erfasst wurden.

1 Einleitung

Seit der Einführung der elektrischen Beleuchtung in Industrie und Handwerk, stellt die Optimierung der Beleuchtungsbedingungen zugunsten der Arbeitsleistung eine zentrale Zielstellung der Lichtplanung dar. In verschiedenen Untersuchungen wird darauf aufmerksam gemacht, dass die Arbeitsleistung von psychologischen Faktoren, wie der Motivation mitbestimmt wird. Beispielsweise beschreiben Brozek und Monke das Zusammenspiel von Arbeitsleistung und Motivation folgendermaßen: „Die wirkliche Arbeitsleistung in der Industrie kann man als das Produkt von Fähigkeit und Motivation betrachten“ (Brozek & Monke, 1950, S. 53).

Dabei ist die Motivation definiert als: „the process that determines the direction and energization of behavior“ (Gendolla & Richter, 2010, S.212).

Demzufolge besitzt die Motivation eine Richtungskomponente, welche die Richtung der Energiemobilisation anzeigt sowie einen energetischen Aspekt. Der energetische Aspekt bezieht sich auf die Mobilisierung von Anstrengung und kann mit dem Konstrukt „Effort“ (Anstrengung) erklärt werden.

Effort beschreibt die notwendige Anstrengung, die zur Zielerreichung sowie zur Überwindung von Hindernissen benötigt wird. Gendolla und Wright definieren Effort als „the mobilization of resources to carry out instrumental behavior“ (Gendolla & Wright, 2009, S. 134). Die Anstrengungsmobilisierung folgt dem Energieeinsparprinzip, was bedeutet, dass nicht mehr Ressourcen für die Zielerreichung eingesetzt werden als unbedingt notwendig (principle of least effort, law of less work) (Gendolla & Richter, 2010).

Aus der Definition wird deutlich, dass schwere Arbeitsaufgaben eine größere Anstrengungsmobilisierung erfordern. Die Aufgabenschwere hat demnach einen proportionalen Einfluss auf den mobilisierten Effort.

Übertragen auf das Feld der Beleuchtung soll für die nachfolgenden Erläuterungen angenommen werden, dass durch die Veränderung der Beleuchtungsbedingungen ein Einfluss auf die Aufgabenschwere und damit auf die subjektiv erlebte Anstrengung erreicht werden kann, welcher wiederum auf die Arbeitsleistung zurückwirkt. Vor dem Hintergrund dieses Zusammenspiels von Motivation und Arbeitsleistung wird nachfolgend ein Modell beschrieben, welches die Regulation der Beanspruchung bzw. der Arbeitsleistung erklärt.

2 Modellvorstellung

Das „Compensatory control model of performance regulation“ (Hockey, 1997), ist ein psychologisches Regelkreismodell, welches aus verschiedenen Studien zur menschlichen Leistungsregulation abgeleitet wurde. Es beschreibt die Regulierung der Arbeitsleistung unter hoher Arbeitslast und Stressbedingungen. Stress wird dabei als Dissens zwischen gefühlter, erwarteter Leistung und gefühlter, aktueller Leistung definiert. Das Modell adressiert vom Individuum aktiv gesteuerte Prozesse der Leistungsregulation, welche Kompensationseffekte beinhalten, die mit der erlebten Anstrengung (Effort) im Zusammenhang stehen: „The energetical-control framework argues that the maintenance of performance stability under demanding conditions is an active process under the control of the individual, requiring the management of cognitive resources through the mobilisation of mental effort.“ (Hockey, 1997, S.78).

Im Rahmen dieses Tagungsbeitrages sollen ungünstige Beleuchtungsbedingungen als externe Störgröße im Modell angenommen werden, welche höhere Anforderungen bei der Aufgabenausführung erzeugen und damit im Sinne des Modells „Stress“ hervorrufen. Betrachtet man beispielsweise die Beleuchtungsstärke als externe Störgröße im Modell, so kann eine Reduzierung der Beleuchtungsstärke, die Erkennungsgeschwindigkeit eines Sehzeichens herabsetzen und dadurch, eine größere Anstrengung beim Beobachter hervorrufen.

Das Modell trifft drei wesentliche Annahmen für die Arbeitsleistung unter Stressbedingungen:

- Die Arbeitsleistung bleibt unter Stressbedingungen bemerkenswert konstant.
- Der Leistungserhalt unter Stressbedingungen geht mit physiologischer Aktivierung und Beanspruchung einher.
- Die Größenordnung von Leistungseinbrüchen ist unter Stressbedingungen eher gering.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit soll nachkommend eine kurze Beschreibung des Modells in Abbildung 1 vorgenommen werden. Das Modell unterscheidet zwei Regelkreise. Im Regelkreis A werden automatisierte Handlungsrountinen zur Ausführung der Arbeitsaufgabe gesteuert. Diese automatisierten Handlungsrountinen können verstanden werden als angelernte Handlungsabläufe zur Erledigung der Arbeitsaufgabe.

Im industriellen Kontext z. B. beim Bohren von Löchern in ein Werkstück, könnte die Positionierung und Ausrichtung des Werkstücks eine automatisierte Handlungsrountine darstellen. Bei einer reinen Sehaufgabe, wie dem Landolt-Sehtest könnte die Identifikation der Öffnung diese automatisierte Handlungsrountine darstellen. Eine wichtige Eigenschaft der Tätigkeiten des Regelkreises A ist, dass die Ausführung der Handlungsrountinen keine Anstrengung erfordert.

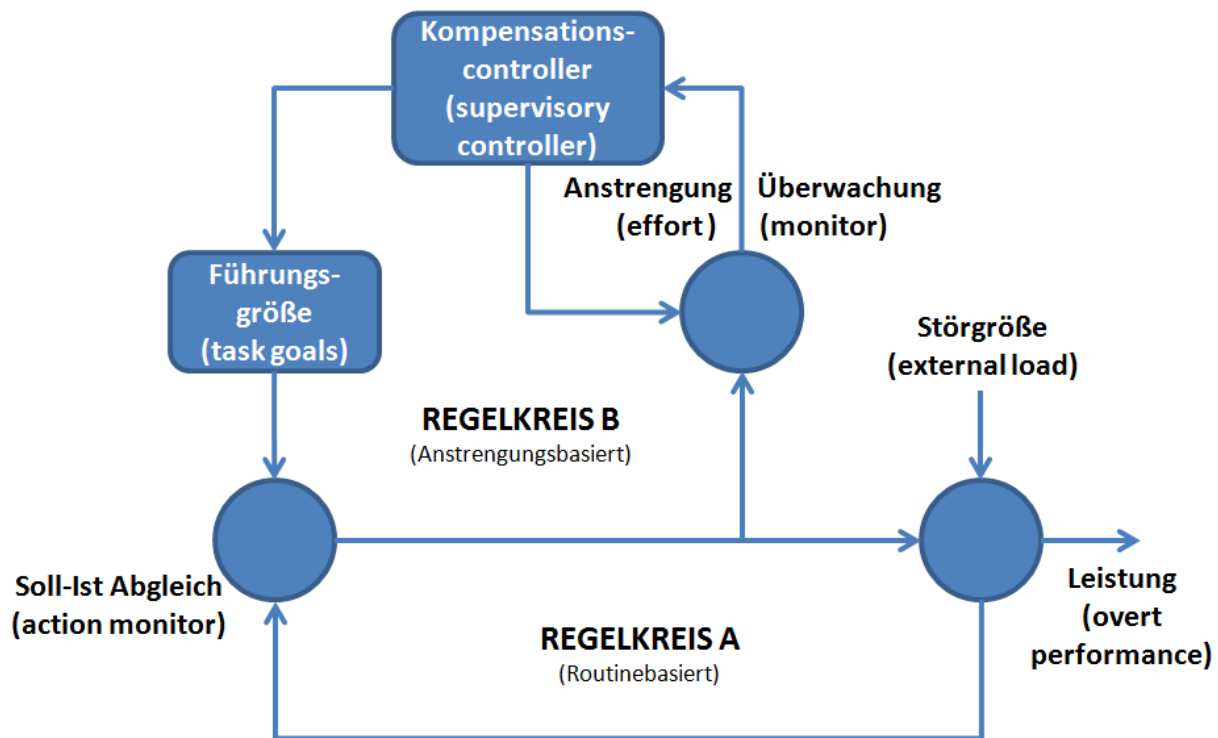


Abb. 1: Compensatory control model of performance regulation nach Hockey (1997)

Zur Erklärung des Regelkreises B sei angenommen, dass sich durch externe Einflüsse (z. B. Beleuchtungsbedingungen wie etwa Schatten, Glanz, Blendung oder Farbverschiebung) neue, gestiegene Anforderungen im Regelkreis A ergeben, welche mit den standardisierten Handlungsmustern nicht mehr erfüllt werden können. Dabei wird beim Soll-Ist-Abgleich (action monitor) eine Abweichung vom Zielzustand festgestellt. Infolge dieser externen Einflüsse wird eine Anpassung der Handlungsmuster des Regelkreises A notwendig. Diese Regulation von Handlungen ist mit Anstrengung verbunden und wird im Regelkreis B beschrieben. Zur Bewältigung des Soll-Ist-Defizits wird auf den Regelkreis B umgeschaltet.

Im Regelkreis B kommt dem Effort-Monitor eine zentrale Rolle zu. Der Effort-Monitor empfängt die gestiegenen Anforderungen aus dem Regelkreis A. Wichtig ist dabei die Festlegung, dass der Effort-Monitor einen Auslösewert und einen Maximalwert beinhaltet.

Alle Anforderungen, welche unter dem Auslösewert liegen, erzeugen keinen Anstieg der subjektiv erlebten Anstrengung, d. h. sie werden nicht als anstrengend empfunden. Der Maximalwert der in Kauf nehmbarer Anstrengung ist durch die Motivation des Individuums festgelegt. Die Differenz zwischen Auslösewert (min.) und Maximalwert (max.) beschreibt die einsetzbare Anstrengung zur Leistungsregulation.

Das zweite wesentliche Element im Regelkreis B ist der Kompensationscontroller (supervisory controller), der über unterschiedliche Strategien zur Anforderungsbewältigung entscheidet. Einerseits kann er die Aufgabenziele herabsetzen oder die Anstrengung bei der Aufgabenerfüllung anpassen.

Nach Hockey können folgende vier Kompensationsstrategien mit dem Modell erklärt werden (Hockey, 1997):

- Leistungsreduktion in sekundären Aufgaben
- Inkaufnahme höherer Beanspruchung (Leistungskompensation)
- Strategische Anpassungen der Arbeitsleistung bzw. der Qualität der Arbeit (Beanspruchungskompensation)
- Folgeerscheinungen von Ermüdung

Bei den vier Punkten handelt es sich um Performancemuster unter Stressbedingungen in denen Kompensationsprozesse zum Tragen kommen, welche die Stabilität des Systems sicherstellen sollen. Die drei letztgenannten Kompensationsstrategien sind schematisch in Abbildung 2 dargestellt und werden nachfolgend kurz erläutert.

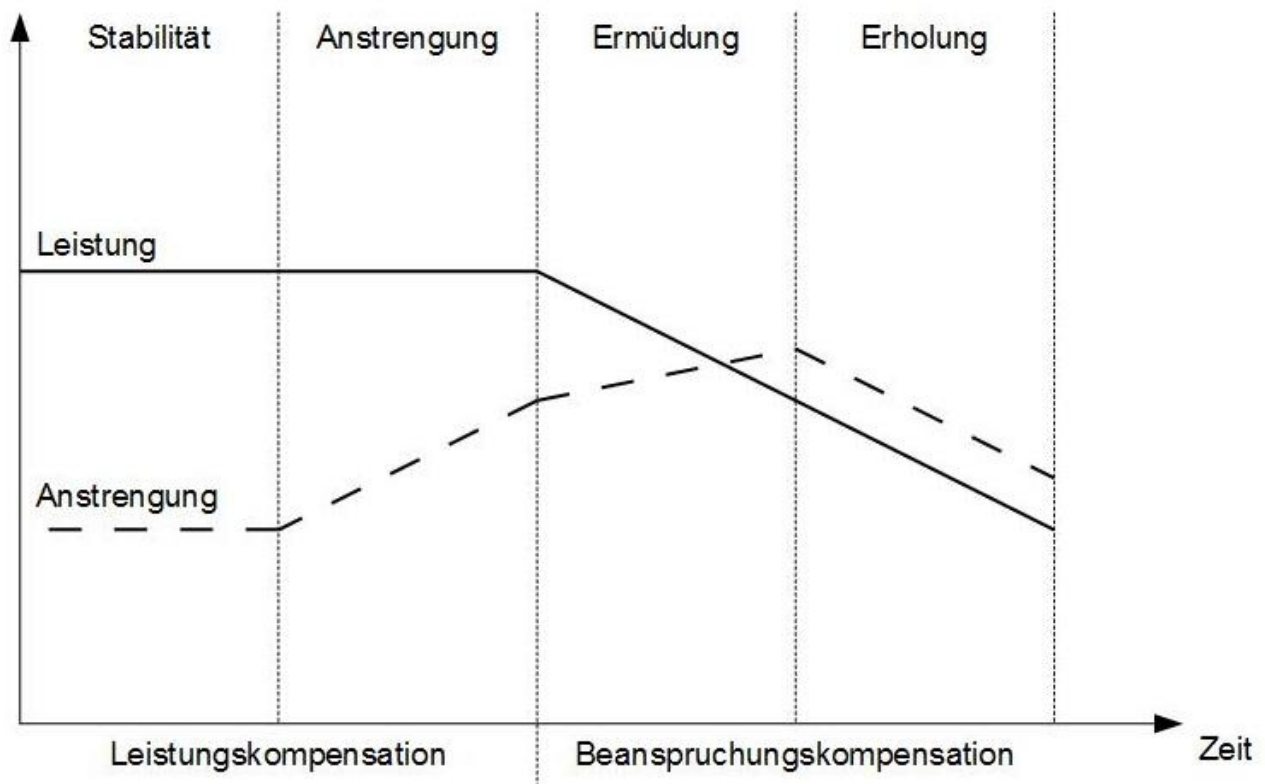


Abb. 2: Kompensationsphasen nach Haider und Rohmert (1978)

Die ersten zwei Abschnitte der Abbildung 2 kennzeichnen den Bereich der Leistungskompensation. Die Phase der Stabilität kann mit dem routinebasierten Regelkreis A assoziiert werden, wobei das Anstrengungsniveau keine Auswirkungen auf die Leistung zeigt. In der zweiten Phase (Anstrengung) wird die Leistung unter Inkaufnahme einer größeren Anstrengung konstant gehalten. Die letzten zwei Abschnitte kennzeichnen den Bereich der Beanspruchungskompensation. Im Fall der Beanspruchungskompensation werden Aufgabenziele oder die Qualität der Aufgabenausführung herabgesetzt. Gestiegene Anforderungen die mit einer höheren Anstrengung einhergehen, werden durch eine Leistungsreduktion kompensiert. Ob ein Individuum auf steigende Anforderungen mit Leistungs- oder

Beanspruchungskompensation reagiert, hängt von verschiedenen äußeren Faktoren ab, z. B. finanzielle Anreize oder drohende Konsequenzen eines Leistungsabfalls.

3 Methode

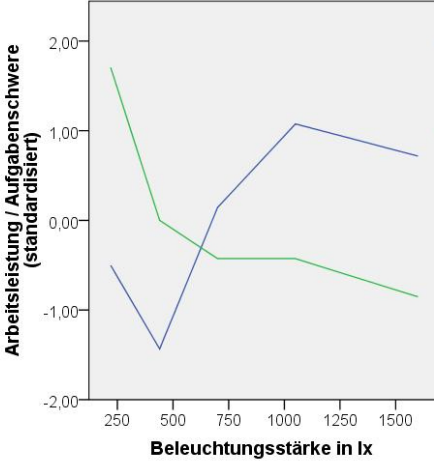
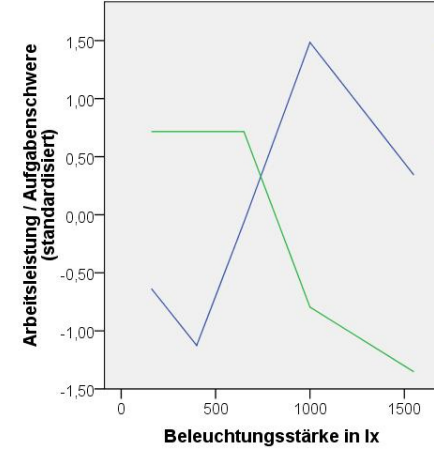
Im Rahmen einer Dissertation am Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau (Krüger, 2018) wurde das Modell auf spezielle Untersuchungen am Gütemerkmal Lichtrichtung/Schattigkeit angewendet. In diesem Beitrag soll überprüft werden, ob sich in der lichttechnischen Literatur weitere Anhaltspunkte für die Anwendbarkeit dieses Modells finden lassen. Zu diesem Zweck wurde nach Beleuchtungsstudien gesucht, welche neben einer unabhängigen Variablen der Beleuchtung (z. B. Beleuchtungsstärke) als abhängige Variable einen objektiven Leistungsparameter sowie einen subjektiven Beanspruchungsparameter (Anstrengung/Effort) erhoben haben.

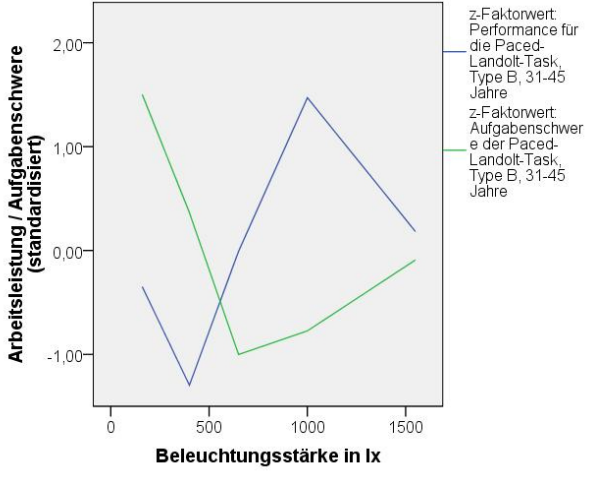
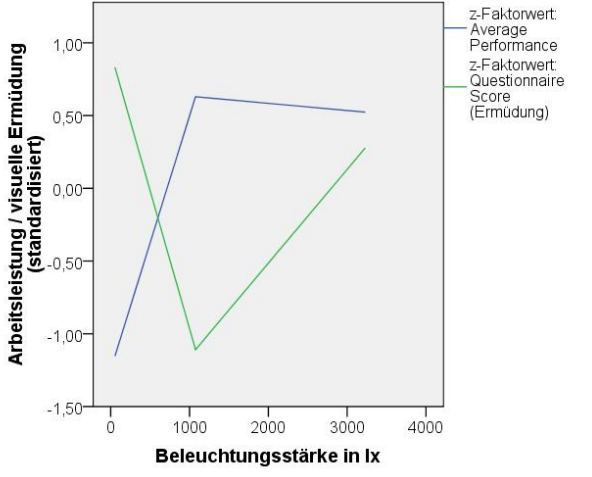
Nach Gendolla und Richter (2010) kamen bislang zwei Möglichkeiten zur Erfassung des Efforts zur Anwendung. Diese umfassen einerseits die Selbstauskunft mithilfe von Fragebögen (z. B. Borg-Skala (1982), Effort-Skala (Eilers et al., 1986)) und andererseits die Erhebung von Herz-Kreislauf-Parametern, wie Herzrate und Blutdruck.

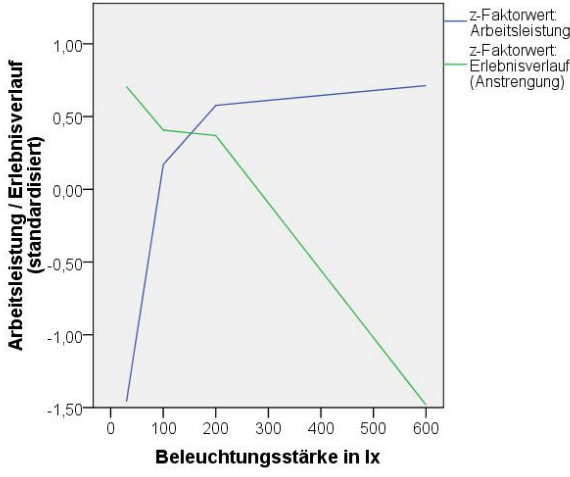
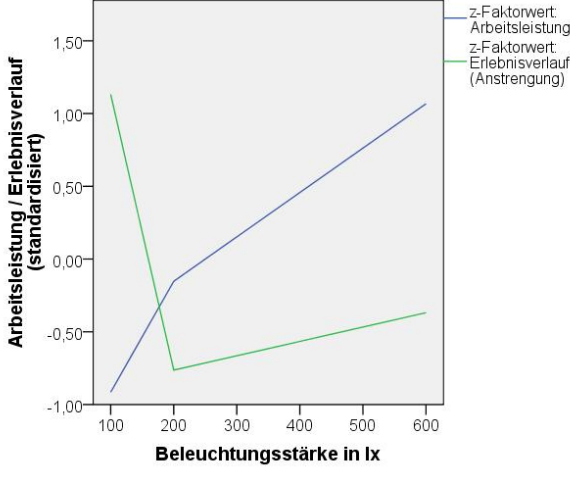
Anhand dieser Randbedingungen wurde eine Literaturrecherche in einschlägigen wissenschaftlichen Literaturdatenbanken wie ScienceDirect und PubMed durchgeführt. Für die Suche wurden Mesh-Terms aus den Themenkomplexen Effort, Performance und Lighting miteinander verknüpft. Leider ergab diese Suchstrategie keine verwertbaren Treffer. Die Problemstellung die sich hierbei herausstellte, war die Tatsache, dass zwar zahlreiche Studien existieren, in denen objektive Leistungsparameter erhoben wurden, jedoch selten Faktoren des subjektiven Beanspruchungsempfindens berichtet werden. Vor diesem Hintergrund wurde auf eine Handsuche im Journal „Lighting Research and Technology“ ausgewichen. Weiterhin wurde der Suchradius auf das Gütemerkmal „Beleuchtungsniveau“ eingegrenzt. Besonders in der Mitte des 19. Jahrhunderts wurden verstärkt Studien zum Zusammenhang von Beleuchtungsstärke und Leistung durchgeführt.

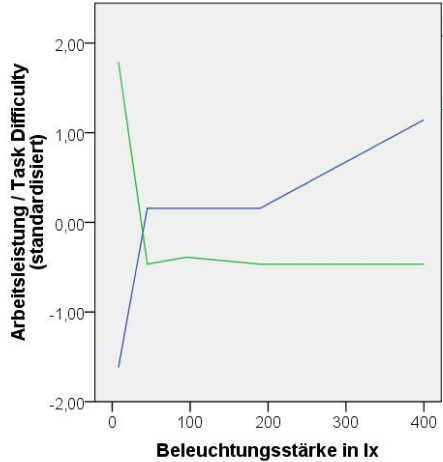
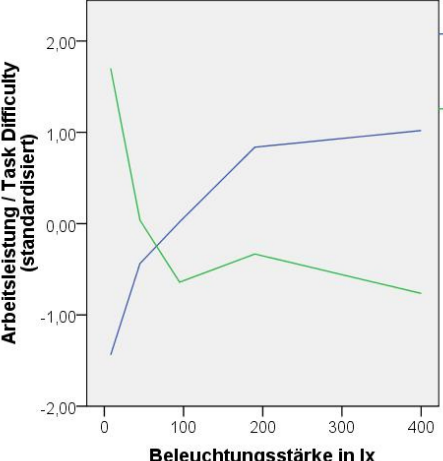
Insgesamt ergab die Handsuche 4 Studien (Boyce, 1973; 1974; Simonson & Brozek, 1948; Völker, 1998) in denen der Einfluss des Beleuchtungsniveaus auf die Leistung untersucht wurde und dazu subjektive Beanspruchungsparameter ermittelt wurden. Relativierend muss hinzugefügt werden, dass es sich bei der Erhebung der Anstrengung um unterschiedliche Operationalisierungen handelte. Beispielsweise verwendete Boyce (1973) Fragebogenitems zur subjektiven Anstrengung und Aufgabenschwere mit einer siebenstufigen Skala. Dabei betont Boyce die Nähe zum Konstrukt „Effort“: „Previous work has shown that subjects can use rating scales based on concepts of difficulty and effort, sensibly and consistently“ (Boyce, 1973, S. 127). Demgegenüber verwendete Völker (1998) bei der Bewertung des Erlebnisverlaufs Fragen nach Verausgabung, geistiger Ermüdung, körperlicher Erschöpftheit und Abgespanntheit. In allen Studien wurde das Beanspruchungsempfinden mit vergleichbaren Fragebogenitems erfasst.

Tab. 1: Datenextraktion zur Darstellung von Kompensationseffekten

Autor, Jahr	Beleuchtung	Leistungsparameter	Anstrengungsparameter	Versuchsdauer, Probandenanzahl N	Diagramm
(Boyce, 1973)	Beleuchtungsstärken: 220lx, 440lx, 700lx, 1050lx, 1600lx	Self-Paced-Landolt-Task (durch Probanden frei wählbare Betrachtungsdauer des Sehzeichens), Ring Typ A (einfaches Sehzeichen)	Fragebogen zur Schwere der Sehaufgabe	Altersgruppe 31-45 Jahre, N=150, Dauer=1h	 <p>z-Faktorwert Performance für die Self-Paced-Landolt-Task, 31-45 Jahre</p> <p>z-Faktorwert Aufgabenschwere der Self-Paced-Landolt-Task, 31-45 Jahre</p>
(Boyce, 1973)	Beleuchtungsstärken: 160lx, 400lx, 650lx, 1000lx, 1550lx	Paced-Landolt-Task (durch Versuchsleiter vorgegebene Betrachtungsdauer des Sehzeichens (0,65s)), Ring Typ A (einfaches Sehzeichen)	Fragebogen zur Schwere der Sehaufgabe	Altersgruppe 31-45 Jahre, N=150, Dauer=1h	 <p>z-Faktorwert Performance für die Paced-Landolt-Task, Type A, 31-45 Jahre</p> <p>z-Faktorwert Aufgabenschwere der Paced-Landolt-Task, Type A, 31-45 Jahre</p>

Autor, Jahr	Beleuchtung	Leistungsparameter	Anstrengungsparameter	Versuchsdauer, Probandenanzahl N	Diagramm
(Boyce, 1973)	Beleuchtungsstärken: 160lx, 400lx, 650lx, 1000lx, 1550lx	Paced-Landolt-Task, (durch Versuchsleiter vorgegebene Betrachtungsdauer des Sehzeichens (0,65s)), Ring Typ B (komplexes Sehzeichen)	Fragebogen zur Schwere der Sehaufgabe	Altersgruppe 31-45 Jahre, N=150, Dauer=1h	 <p>z-Faktorwert: Performance für die Paced-Landolt-Task, Type B, 31-45 Jahre</p> <p>z-Faktorwert: Aufgabenschwere der Paced-Landolt-Task, Type B, 31-45 Jahre</p>
(Simonson & Brozek, 1948)	Beleuchtungsstärken: 54lx, 1076lx, 3229 lx	Erkennung von Buchstaben bei Blick durch einen Spalt, Expositionsdauer 0,56s, Buchstabengröße 10 Winkelminuten	Fragebogen zur visuellen Beschwerden mit Angaben zur empfundenen Anstrengung der Sehaufgabe	N=6, Dauer=2h	 <p>z-Faktorwert: Average Performance</p> <p>z-Faktorwert: Questionnaire Score (Ermüdung)</p>

Autor, Jahr	Beleuchtung	Leistungsparameter	Anstrengungsparameter	Versuchsdauer, Probandenanzahl N	Diagramm															
(Völker, 1998)	Beleuchtungsstärken: 30lx, 100lx, 200lx, 600lx	Arbeitsleistung (1/s) beim Bohren, Isolieren, Stanzen, Zuschneiden, Sägen	Fragebogen zum Erlebnisverlauf (Befindlichkeitsänderungen)	Kurzzeitversuch, Dauer=2h, N=50	 <table border="1" data-bbox="1480 400 2047 879"> <caption>Data for 2-hour trial graph</caption> <thead> <tr> <th>Beleuchtungsstärke (lx)</th> <th>z-Faktorwert Arbeitsleistung</th> <th>z-Faktorwert Erlebnisverlauf (Anstrengung)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0.00</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.20</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.60</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>0.75</td> <td>-1.50</td> </tr> </tbody> </table>	Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert Arbeitsleistung	z-Faktorwert Erlebnisverlauf (Anstrengung)	0	0.00	0.75	100	0.20	0.40	200	0.60	0.40	600	0.75	-1.50
Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert Arbeitsleistung	z-Faktorwert Erlebnisverlauf (Anstrengung)																		
0	0.00	0.75																		
100	0.20	0.40																		
200	0.60	0.40																		
600	0.75	-1.50																		
(Völker, 1998)	Beleuchtungsstärken: 100lx, 200lx, 600lx	Arbeitsleistung (1/s) beim Bohren, Isolieren, Stanzen, Zuschneiden, Sägen	Fragebogen zum Erlebnisverlauf (Befindlichkeitsänderungen)	Langzeitversuch, Dauer=8h, N=12	 <table border="1" data-bbox="1480 922 2047 1401"> <caption>Data for 8-hour trial graph</caption> <thead> <tr> <th>Beleuchtungsstärke (lx)</th> <th>z-Faktorwert Arbeitsleistung</th> <th>z-Faktorwert Erlebnisverlauf (Anstrengung)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>-0.90</td> <td>1.10</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>-0.15</td> <td>-0.70</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>1.10</td> <td>-0.40</td> </tr> </tbody> </table>	Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert Arbeitsleistung	z-Faktorwert Erlebnisverlauf (Anstrengung)	100	-0.90	1.10	200	-0.15	-0.70	600	1.10	-0.40			
Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert Arbeitsleistung	z-Faktorwert Erlebnisverlauf (Anstrengung)																		
100	-0.90	1.10																		
200	-0.15	-0.70																		
600	1.10	-0.40																		

Autor, Jahr	Beleuchtung	Leistungsparameter	Anstrengungsparameter	Versuchsdauer, Probandenanzahl N	Diagramm																		
(Boyce, 1974)	Beleuchtungsstärken: 8lx, 45lx, 95lx, 190lx, 400lx	Self-Paced-Landolt-Task (durch Probanden frei wählbare Betrachtungsdauer des Sehzeichens), Größe des Sehdetails: 2,4 Winkelminuten,	Fragebogen zur Schwere der Sehaufgabe	N=10, Dauer=20min.	 <p>z-Faktorwert: Performance für Landolt-Ring-Task, Type A z-Faktorwert: Task Difficulty der Landolt-Ring-Task, Type A</p> <table border="1"> <caption>Data for Landolt-Ring-Task Type A</caption> <thead> <tr> <th>Beleuchtungsstärke (lx)</th> <th>z-Faktorwert: Performance (standardisiert)</th> <th>z-Faktorwert: Task Difficulty (standardisiert)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8</td> <td>-1.5</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>0.2</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td>95</td> <td>0.2</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td>190</td> <td>0.7</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>1.2</td> <td>-0.4</td> </tr> </tbody> </table>	Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert: Performance (standardisiert)	z-Faktorwert: Task Difficulty (standardisiert)	8	-1.5	1.8	45	0.2	-0.4	95	0.2	-0.4	190	0.7	-0.4	400	1.2	-0.4
Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert: Performance (standardisiert)	z-Faktorwert: Task Difficulty (standardisiert)																					
8	-1.5	1.8																					
45	0.2	-0.4																					
95	0.2	-0.4																					
190	0.7	-0.4																					
400	1.2	-0.4																					
(Boyce, 1974)	Beleuchtungsstärken: 8lx, 45lx, 95lx, 190lx, 400lx	Self-Paced-Landolt-Task (durch Probanden frei wählbare Betrachtungsdauer des Sehzeichens), Größe des Sehdetails: 2,4 Winkelminuten,	Fragebogen zur Schwere der Sehaufgabe	N=10, Dauer=20min.	 <p>z-Faktorwert: Performance für Landolt-Ring-Task, Type B z-Faktorwert: Task Difficulty der Landolt-Ring-Task, Type B</p> <table border="1"> <caption>Data for Landolt-Ring-Task Type B</caption> <thead> <tr> <th>Beleuchtungsstärke (lx)</th> <th>z-Faktorwert: Performance (standardisiert)</th> <th>z-Faktorwert: Task Difficulty (standardisiert)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8</td> <td>-1.5</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>-0.4</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>95</td> <td>0.1</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>190</td> <td>0.9</td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>1.0</td> <td>-0.7</td> </tr> </tbody> </table>	Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert: Performance (standardisiert)	z-Faktorwert: Task Difficulty (standardisiert)	8	-1.5	1.7	45	-0.4	0.1	95	0.1	-0.6	190	0.9	-0.3	400	1.0	-0.7
Beleuchtungsstärke (lx)	z-Faktorwert: Performance (standardisiert)	z-Faktorwert: Task Difficulty (standardisiert)																					
8	-1.5	1.7																					
45	-0.4	0.1																					
95	0.1	-0.6																					
190	0.9	-0.3																					
400	1.0	-0.7																					

4 Ergebnisse

Die Tabelle 1 enthält eine Extraktion der relevanten Daten. In den darin enthaltenen Diagrammen wurden die subjektiven Anstrengungsdaten (grüner Graph) sowie die objektiven Leistungsdaten (blauer Graph) standardisiert, um sie gemeinsam mit einer einheitlichen Y-Achsen-Skalierung in einem Diagramm darstellen zu können. Die Standardisierung erfolgte mithilfe der z-Transformation. Z-transformierte Werte (z-Faktorwert) werden dadurch vergleichbar, dass die Stichprobenwerte nach der Transformation nicht mehr in den Originalmaßeinheiten vorliegen, sondern in Vielfachen der Standardabweichung der Stichprobe. Nach der z-Transformation ergibt sich das arithmetische Mittel der transformierten Messreihe zu Null und die Varianz sowie die Standardabweichung zu 1.

Vorab sei erwähnt, dass es bei der Interpretation der Diagramme einige Fallstricke zu beachten gilt. Zunächst sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den extrahierten Daten lediglich um einzelne Messpunkte handelt, welche streng genommen nicht zu einem Graphen verbunden werden dürfen. Die Verbindung der Messpunkte soll lediglich die Sichtbarkeit von Kompensationseffekten erleichtern.

Weiterhin sei darauf aufmerksam gemacht, dass „große Sprünge“ bzw. „steile Anstiege“ in den Diagrammen mit signifikanten Änderungen assoziiert werden könnten. Diesbezüglich sei erwähnt, dass in allen aufgeführten Studien signifikante Unterschiede der Arbeitsleistung und der Anstrengung bei unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus berichtet wurden. Jedoch enthielten die Studien keine paarweisen Vergleiche, die es erlauben würden, signifikante Unterschiede auf konkrete Beleuchtungsunterschiede einzugrenzen. In den Studien wurden überwiegend Haupteffekte berichtet.

Werden die aufgeführten Fallstricke bei der Interpretation der Diagramme berücksichtigt, fällt dennoch ein wiederkehrendes Muster auf. Die Anstrengungsdaten zeigen eine gegenläufige Tendenz zu den Leistungsdaten. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Probanden bei höherer Anstrengung ihre Leistung reduzierten (bzw. bei geringerer Anstrengung ihre Leistung erhöhten). Die hier dargestellten Verläufe deuten auf die Bewältigungsstrategie der Beanspruchungskompensation. Für Laborversuche erscheint diese Erklärung durchaus plausibel, da den Testpersonen auch bei halbherziger Ausführung der Arbeitsaufgabe keine Konsequenzen drohten (z. B. Verweigerung der Teilnahmevergütung). Der Einsatz einer Leistungsprämie für besonders schnelle und akkurate Versuchsteilnehmer hätte möglicherweise zu einer anderen Kompensationsstrategie geführt. Im realen Arbeitskontext (z. B. bei leistungsorientierter Bezahlung) wäre es vorstellbar, dass Beschäftigte die Leistungskompensation als Bewältigungsstrategie auswählen, um Nachteile bei der Bezahlung zu vermeiden.

Neben den Datenextraktionen der Tabelle 1 wurden weitere Studien auf Kompensationseffekte untersucht (z. B. Krüger (2018), Stone et al. (1980), Benedetto et al. (2014) und Studiengemeinschaft Licht e.V. (1956)). In diesen Studien zeigten sich dieselben Muster, wobei die Probanden ebenfalls mit Beanspruchungskompensation reagierten. Auf diese Analysen soll hier nicht näher eingegangen werden, da dabei andere Gütemerkmale der Beleuchtung im Mittelpunkt standen. Jedoch sei darauf aufmerksam gemacht, dass sich das Modell auch auf andere Gütemerkmale der Beleuchtung anwenden ließe. Vor diesem Hintergrund kann es sinnvoll sein, in Beleuchtungsstudien

mit Leistungsmessungen, die Anstrengung als zusätzliche abhängige Variable in das Versuchsdesign aufzunehmen.

5 Diskussion

Aus Perspektive der Sicherheit und Gesundheit handelt es sich um eine relevante Modellvorstellung, da das Modell Verbindungen zu gesundheitlichen Auswirkungen unter Stressbedingungen herstellt. Mögliche negative Folgen werden hierbei wesentlich von der Bewältigungsstrategie bestimmt. Besonders im Fall der Leistungskompensation, welche die Inkaufnahme einer höheren Beanspruchung zulässt, können ungewollte negative Auswirkungen auf die Gesundheit auftreten, beispielhaft nennt Hockey Einflüsse auf Stimmung, Adrenalin, Herzrate, Blutdruck und das Auftreten neuroendokriner Stressmuster (Hockey, 1997). Im Fall von ungünstigen Beleuchtungsbedingungen können Leistungseinbußen und visueller Diskomfort auftreten. Ein stärkeres Commitment des Probanden bzw. des Beschäftigten kann bei Leistungskompensation nachteilige Wechselwirkungen mit dem Wohlbefinden hervorrufen. Auch dort, wo keine Abnahme der Leistung beobachtet werden kann, können sich Störungen in Nebentätigkeiten zeigen oder sich in Beanspruchung, Aktivierung und Ermüdung widerspiegeln (Hockey, 1997).

6 Literatur

- Benedetto, S., Carbone, A., Draï-Zerbib, V., Pedrotti, M. & Baccino, T. (2014).** Effects of luminance and illuminance on visual fatigue and arousal during digital reading. *Computers in Human Behavior* **41**, 112-119.
- Borg, G. A. (1982).** Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* **14**, 377-381.
- Boyce, P. R. (1973).** Age, illuminance, visual performance and preference. *Lighting Research & Technology* **5**, 125-144.
- Boyce, P. R. (1974).** Illuminance, difficulty, complexity and visual performance. *Lighting Research & Technology* **6**, 222-226.
- Brozek, J. & Monke, J. V. (1950).** Miniature work situations as a research tool. *Archives of Industrial Hygiene & Occupational Medicine* **2**, 63-97.
- Eilers, K., Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1986).** Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Z für ArbWiss* **Jg. 40**, 215-224.
- Gendolla, G. H. E. & Richter, M. (2010).** Effort mobilization when the self is involved: Some lessons from the cardiovascular system. *Review of General Psychology* **14**, 212-226.
- Gendolla, G. H. E. & Wright, R. A. (2009).** Effort. In *Oxford companion to the affective sciences*. Edited by D. Sander & K. Scherer. New York: Oxford University Press.
- Haider, E. & Rohmert, W. (1978).** Performance- and strain-compensation with informatory work. *European Journal of Applied Physiology* **39**, 263-276.
- Hockey, G. R. (1997).** Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload; a cognitive-energetical framework. *Biol Psychol* **45**, 73-93.
- Krüger, J. (2018).** Dissertation zum Einfluss des Gütemerkmals Lichtrichtung und Schattigkeit auf Störwirkung und visuellen Diskomfort. Ilmenau: Universitätsverlag.
- Simonson, E. & Brozek, J. (1948).** Effects of Illumination Level on Visual Performance and Fatigue*. *Journal of the Optical Society of America* **38**, 384-397.
- Stone, P. T., Clarke, A. M. & Slater, A. I. (1980).** The effect of task contrast on visual performance and visual fatigue at a constant illuminance. *Lighting Research & Technology* **12**, 144-159.

- Studiengemeinschaft Licht e.V. (1956).** Untersuchungen über Leistung und Ermüdung des Menschen bei verschiedenen Lichtbedingungen. *Lichttechnik* **8**, 296-300.
- Völker, S. (1998).** Dissertation zur Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveaus, pp. 1-190: Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik.