

Messung physio-psychologische Größen

Stephan Völker, TU Berlin, FG Lichttechnik (E6), Einsteinufer 19, 10587

Begriff ‚Physio-psychologische Größe‘

Um die Güte einer Beleuchtungsanlage beurteilen zu können oder Beleuchtungsanlagen mit hoher Güte auslegen zu können, werden Maßzahlen benötigt. Bekanntermaßen verwendet die Lichttechnik das Beleuchtungsniveau, die Lichtverteilung, Gleichmäßigkeit, Blendfreiheit, Erkennbarkeit, Lichtrichtung und Schattigkeit, Pulsationsfreiheit, Lichtfarbe und Farbwiedergabe. All diese Größen basieren auf der Wahrnehmung von Licht und seiner spektralen Verteilung. Da es bei der Wahrnehmung nicht nur um die reine Absorption der Strahlung in den Empfängern geht, sondern Wahrnehmung auch immer eine aktive Leistung des Gehirns darstellt, verstehen wir alle visuellen Größen auch als physio-psychologische Größen.

Kriterien und Verfahren zur Messung

Entsprechend unterscheidet man bei der Bewertung der Gütekriterien (zum Beispiel der Lichtverteilung) physiologische und psychologische Kriterien (Abbildung 1).

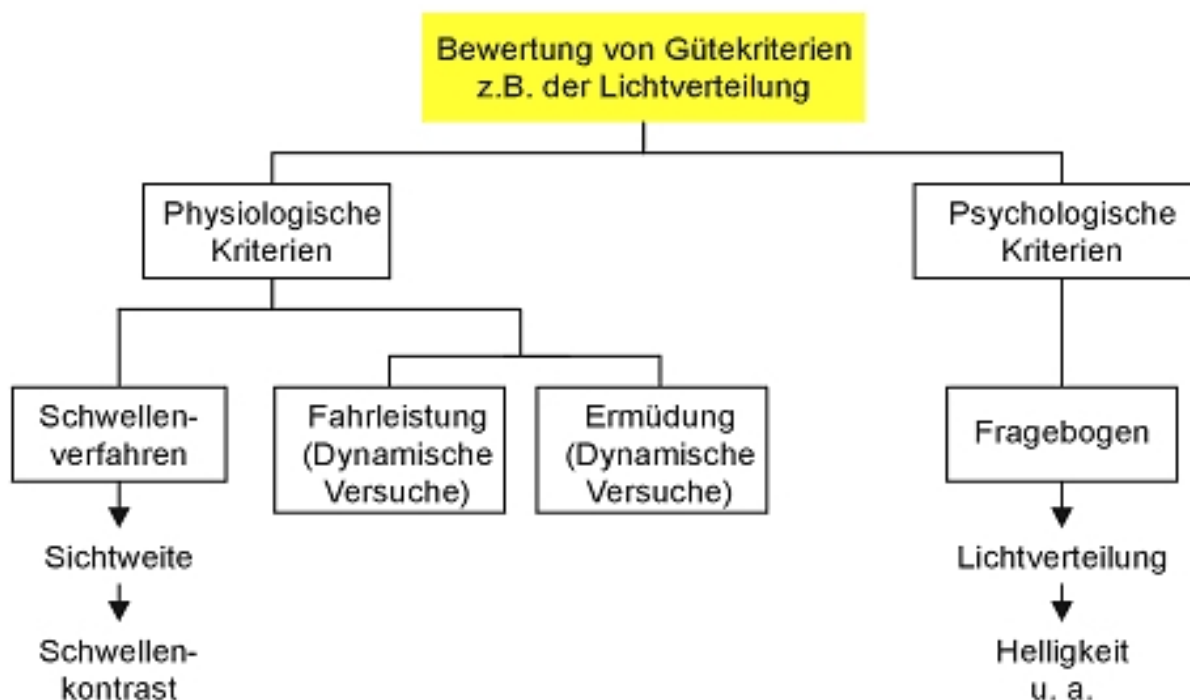


Abbildung 1: Bewertung von Gütekriterien

Zu den physiologischen Kriterien gehören Schwellenverfahren die Messung der Fahrleistung oder der Ermüdung. Als Schwellenverfahren gilt zum Beispiel die Messung der Erkennbarkeitsentfernung, welche abhängig ist vom Kontrast, der Größe, der Relativgeschwindigkeit bezogen auf den Beobachter und dem Umfeld des Objektes. Die Fahrleistung wird üblicherweise in dynamischen Fahrversuchen ermittelt, indem Fahrfehler und die benötigte Zeit ins Verhältnis gesetzt werden. Für die Messung der Ermüdung wurden zahlreiche Verfahren entwickelt, welche jedoch in lichttechnischen Experimenten selten erfolgreich eingesetzt werden konnten.

Möchte man die Akzeptanz einer Lichtverteilung beurteilen, so greift man auf psychologische Kriterien zurück, welche mittels Fragebögen erfasst werden können. Abbildung 2 zeigt die Bewertung des Gütemerkmals Kfz-Lichtverteilung. Während die Fragen A bis D auf die Gesamtbewertung der Lichtverteilung zielen, erfasst die Frage E bis F Teilbereiche der Lichtverteilung. Mit Frage G wird die Entfernungsentfernung einer grauen Tafel bestimmt.

A) Helligkeitsniveau:
dunkler heller

B) Lichtverteilung:
gar nicht zufrieden sehr zufrieden

C) Sichtweite:
sehr schlecht sehr gut

D) Homogenität:
stark inhomogen sehr homogen

E) Detaillierte Bewertung der Homogenität auf der Strasse:

		10		9			
		stark inhomogen	sehr homogen	stark inhomogen	sehr homogen		
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
8		7	6	5			
stark inhomogen	sehr homogen	stark inhomogen	sehr homogen	stark inhomogen	sehr homogen	stark inhomogen	sehr homogen
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4		3	2	1			
stark inhomogen	sehr homogen	stark inhomogen	sehr homogen	stark inhomogen	sehr homogen	stark inhomogen	sehr homogen
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

G) Letzte gut erkennbare Tafel: 1 2 3 4 5

SW-Nr.: 1

Abbildung 2: Fragebogen zur Beurteilung einer Kfz-Lichtverteilung

Daneben findet man Einstellungsverfahren (indem der Proband die Lichtverteilung dynamisch verändern kann) oder auch den Paarvergleich (zum Beispiel mittels zweier Bildschirme). Die hier erwähnten Verfahren stellen nur einen kleinen Ausschnitt psychologische Erhebungsmethoden dar.

Besonderheiten und Definition der Messung

Welche Besonderheiten ergeben sich bei der Messung physio-psychologischer Größen? Der Mensch ist Messgerät und Messobjekt zugleich. Nach Haubner [Haubner77] besteht das Messen in der Zuordnung von Zahlen zu den Ausprägungen eines Merkmals, eines empirischen Phänomens (eines Objektes, Vorganges, Zustandes), sodass bestimmte Relationen zwischen den Ausprägungen des Merkmals korrespondieren. Diese Zuordnung von Zahlen zu den Ausprägungen eines Merkmals nennen wir Skalierung. Auf die Frage B in Abbildung 2 angewendet, bedeutet die Messung (Skalierung) der Lichtverteilung (Merkmal) die Zuordnung der Zahlen zwischen 1 (=gar nicht zufrieden) und 19 (=sehr zufrieden).

Skalenniveau und Rechenoperationen

Nach Aufnahme der Messwerte müssen diese einem Skalenniveau zugeordnet werden. Es wird zwischen Nominal-, Ordinal-, Intervall- und Verhältnisskalen (siehe Tab. 1) unterschieden.

Tabelle 1: Einteilung der Skaleniveaus

Skalenniveau	Beispiel	Empirische Relevanz
Nominal	Geschlecht, Familienstand	Keine
Ordinal	Rachergewohnheiten	Ordnung von Zahlen
Intervall	IQ	Differenzen von Zahlen
Verhältnis	Alter in Jahren	Verhältnisse der Zahlen

Je höher das Skalenniveau, desto mehr Informationen enthalten die Messwerte. Die Rechenoperationen, welche mit den Messwerten durchgeführt werden, hängen vom Skalenniveau ab (Tab. 2). Je höher das Skalenniveau, desto größer ist die Vielfalt an Rechenoperationen. Innerhalb einer Skala sind nur bestimmte Messzahlen, Prüf- und Korrelationsverfahren erlaubt.

Tabelle 2: Rechenoperationen in Abhängigkeit des Skalenniveaus

Skalenniveau	Rechenoperationen	Empirische Relevanz
Nominal	Häufigkeit	Keine, Gruppierungsvariable
Ordinal	Median, Rangkorrelationskoeffizient	Ordnung von Zahlen
Intervall	Mittelwert	Differenzen von Zahlen
Verhältnis	Quotienten	Verhältnisse der Zahlen, besitzen Nullpunkt

Methodenklassen

Für die Messung von physio-psychologischen Größen können die beiden Methodenklassen A und B unterschieden werden.

Zur Methodenklasse A gehören:

- A1 Schwellenskalierung (Kontrast-, Farb- und Glanzschwellen, Erkennbarkeitsentfernung, VL)
- A2 Paarvergleich (zwei Reize - gleiche Wirkung?)
- A3 Ordinale Urteilskategorien (Helligkeit, Homogenität und psychologische Blendung),
- A4 Direkte Intervallmethode: Äquidistante Unterschiede = Halbierung, Verdoppelung (Farbe)
- A5 Methode der Gleichteilung;

Die Messmethodenklasse B umfasst:

- B1 Größenschätzung (quantitative Angaben zur Empfindung),
- B2 Größenherstellung: Empfindung = Maßvorgabe (Brightness Matching)

Bei den ordinalen Urteilskategorien (A3) ist darauf zu achten, dass diese unipolar (kaum merklich - unerträglich) oder bipolar (zu hell - zu dunkel) gestellt werden können. Die Stufung sollte dabei deutlich voneinander absetzbare Unterschiede aufweisen.

Als Ergebnis erhält man stetige Zufallsgrößen, welcher einer statistischen Behandlung bedürfen. Die mathematische Behandlung hängt von der Skalierung ab. Entsprechend sind die gewonnenen Ergebnisse nicht immer vergleichbar, wenn unterschiedliche Auswertungsverfahren verwendet wurden.

Aufgabe statistischer Auswertung

Die Aufgabe der statistischen Auswertung ist es, fundierte Kriterien für die Interpretation der Ergebnisse zu liefern. Die Messgrößen (abhängige Variablen) müssen dabei auf Reproduzierbarkeit (Reliabilität), ihre Unsicherheit (Vertrauensbereich eines gemessenen Messwertes), die Signifikanz der gemessenen Mittelwertunterschiede und die Wechselbeziehung zwischen unabhängigen Variablen geprüft werden.

Hierfür verwendet man das experimentelle Design. Das Experiment stellt ein Versuchsdesign dar, mit welchem Ursache-Wirkzusammenhänge nachzuweisen sind. Dabei wird die verursachende Variable (unabhängig) systematisch variiert, um ihre Wirkung auf die abhängige Variable zu erfassen. Alle anderen Einflussfaktoren müssen während des Experimentes konstant sein! Nur so sind Unterschiede in den abhängigen Variablen ausschließlich auf systematische Veränderung der unabhängigen Variable rückführbar. Die Untersuchung des experimentellen Designs erfolgt dabei mit der Varianzanalyse.

Varianzanalyse

Die Varianzanalyse ist ein statistisches Verfahren, um zu unterscheiden, ob die Werte einer abhängigen Variable in verschiedenen Gruppen der Stichprobe sich signifikant unterscheiden oder ob die Unterschiede durch zufällige Schwankungen und Fehler entstanden sind. Das Prinzip der Varianzanalyse beruht in der Aufteilung der Unterschiede zwischen den Messwerten in systematische Anteile, welche rückführbar auf Einflüsse der unabhängigen Variable sind und systematische Anteile (Zufallseinflüsse). Die Größen werden ins Verhältnis gesetzt und dieses wird mittels F-Wert charakterisiert (Ergebnis).

Ist der F-Wert groß, besteht eine hinreichende Wahrscheinlichkeit, dass Unterschiede zwischen den einzelnen Merkmalsgruppen nicht auf zufällige Schwankungen zurückzuführen sind (Ergebnis ist signifikant, Signifikanzwert $p < 0,05$). Zusätzlich lässt sich die Interaktion für jedes mögliche Paar von unabhängigen Variablen untersuchen und auf Signifikanz testen. Unter Interaktion versteht man die wechselseitige Beeinflussung der untersuchten Faktoren hinsichtlich ihrer Wirkung auf die abhängige Variable.

Als Voraussetzung für die Varianzanalyse gelten

- Normalverteilung der untersuchten Werte in der Grundgesamtheit,
- Homogenität der Varianten zwischen den Datenreihen.

Die Varianzanalyse ist robust gegenüber Verletzung ihrer Annahmen.

Korrelationsanalyse

Neben der Varianzanalyse spielt die Korrelationsanalyse eine wichtige Rolle bei der Datenauswertung. Häufig interessiert der statistische Zusammenhang zweier Variablen. Als Maß hierfür wird die Korrelation verwendet. Die Angabe der Korrelation erfolgt als Bestimmtheitsmaß oder Determinationskoeffizient (Quadrat des Korrelationskoeffizienten r). Der Determinationskoeffizient lässt sich als prozentualer Anteil der gemeinsamen Varianz bei der Variablen interpretieren. Dabei bedeutet r gleich Null kein linearer Zusammenhang. Es kann aber ein substantieller Zusammenhang in einer anderen Form vorliegen! Dies lässt sich am einfachsten mittels Streudiagramm überprüfen. Das Streudiagramm ist anschaulicher aber nicht quantifizierbar hinsichtlich Stärke und Form einer möglichen Korrelation.

Versuchspersonen

Bevor die Daten von Versuchspersonen für die statistische Auswertung genutzt werden können, muss geprüft werden, ob die erhobenen Daten der Skalierungsaufgabe gerecht werden. Dies erfolgt anhand der Streubreite und der Extremwerte, welche mit dem Durchschnittsbeobachter verglichen werden. Bei Nichtbeachtung der Skalierungsaufgabe erfolgt die Einstellung durch die Versuchsperson häufig aus der Erinnerung. Dies muss aber in jedem Fall vermieden werden!

Versuchsdesign

Für das Versuchsdesign sind folgende fünf Punkte zwingend zu beachten:

1. die Zeitdauer,
2. Training- und Lerneffekte,
3. die Anzahl der Messungen,
4. die Anzahl der Testpersonen und
5. die Durchführung von Vorversuchen.

Die Zeitdauer sollte maximal 60 Minuten betragen abhängig von der Schwierigkeit. Bei längeren Versuchen weisen die Testpersonen nahezu immer Ermüdungserscheinungen auf. Die Erholungsphase zwischen zwei Tests sollte 4-5 Stunden betragen. Bei hohen Sehanforderungen ist die Versuchsdauer zu kürzen. Ob Ermüdung vorliegt, erkennt man an auswandernden Messwerten oder Blockierungen (Ausrutscher).

Trainings- und Lerneffekte führen zur Drift der Messwerte (Werte werden besser). Die Versuchspersonen sollten daher stets trainiert werden, bis der Messwert hinreichend stabil ist. Der Trainingseffekt bleibt etwa sechs Monate erhalten. Alternativ können auch die ersten Messwerte gestrichen werden. Wird an unterschiedlichen Tagen gemessen,

sollte stets auf eine Anschlussmessung geachtet werden. Um Trainings- und Lerneffekte möglichst gering zu halten, sind die Daten zu randomisierten.

Die Anzahl der Messungen sollte 20 Einstellung pro Messwert betragen. Dann ist eine statistische Auswertung möglich. Dieser Wert kann auf zehn Einstellung pro Messwert reduziert werden, wenn die Ergebnisse sehr stabil sind.

Die Anzahl der Testpersonen richtet sich nach dem Ziel des Versuches. Viele Testpersonen und wenig Parameter ergeben repräsentative Ergebnisse. Viele Parameter und wenig Testpersonen legen Tendenzen offen.

Kein Versuch sollte ohne einen Vorversuch durchgeführt werden! Dies garantiert die Leistungsfähigkeit und Eindeutigkeit des Verfahrens. Parametervariationen können im Vorversuch noch sinnvoll begrenzt werden.

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt die Kriterien und Verfahren, welche für die Messung physio-psychologischer Größen anzusetzen sind. Er geht auf die Besonderheiten, die Definition der Messung, das Skalenniveau und die damit möglichen Rechenoperation ein. Es werden die Methodenklassen besprochen und die Aufgaben der statistischen Auswertung erläutert. Der letzte Teil beschreibt das experimentelle Design, die Varianzanalyse und die Korrelationsanalyse. Der Beitrag schließt mit Fragen der Versuchspersonenwahl und gibt Hinweise für ein gelungenes Versuchsdesign.

[Haubner77] Haubner, P.: Zur Helligkeitsbewertung quasi-achromatischer Reize. Dissertation Universität Karlsruhe 1977