Licht, Effizienz und Unfallrisiko

Einfluss von Intensität, Farben und Spektrum des Lichts

Vortrag auf der Tagung
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Management and Law
Winterthur/Schweiz 26. Mai 2008

Dr. A.E. Çakir
ERGONOMIC Institut, Berlin

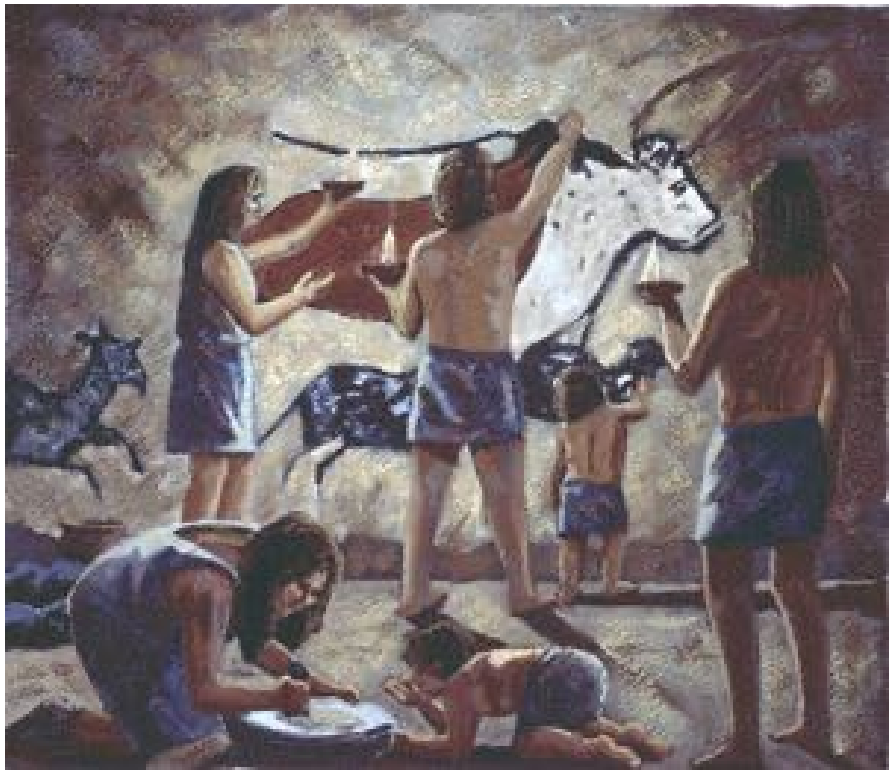
Übersicht

- Hierarchieebenen der Arbeitsgestaltung und der Beitrag der Lichttechnik
- Leistung und Fehler
  - Wirkungsmodell direkt
  - Wirkungsmodell indirekt
- Wirkungsebenen von Licht und Strahlung
- Wirkung der Intensität
- Unfälle und Licht
- Wirkung von Farbe und Spektrum

Eigene Studien

- **Licht und Schichtarbeit im Büro**
- **Licht als “performance shaping factor” in kerntechnischen Anlagen**
- **Licht für Warten von Verkehrsunternehmen**
- **Licht und Farbe für Fluglotsen**
- **Licht und Farbe für den Luftverkehr (Personal, Passagiere)**
- **“Licht und Gesundheit” allgemein**

Dafür genügte noch Helligkeit



Hiercharchie der Arbeitsgestaltung

Hiercharchie der Arbeitsgestaltung

Sozialverträglichkeit

Zufriedenheit

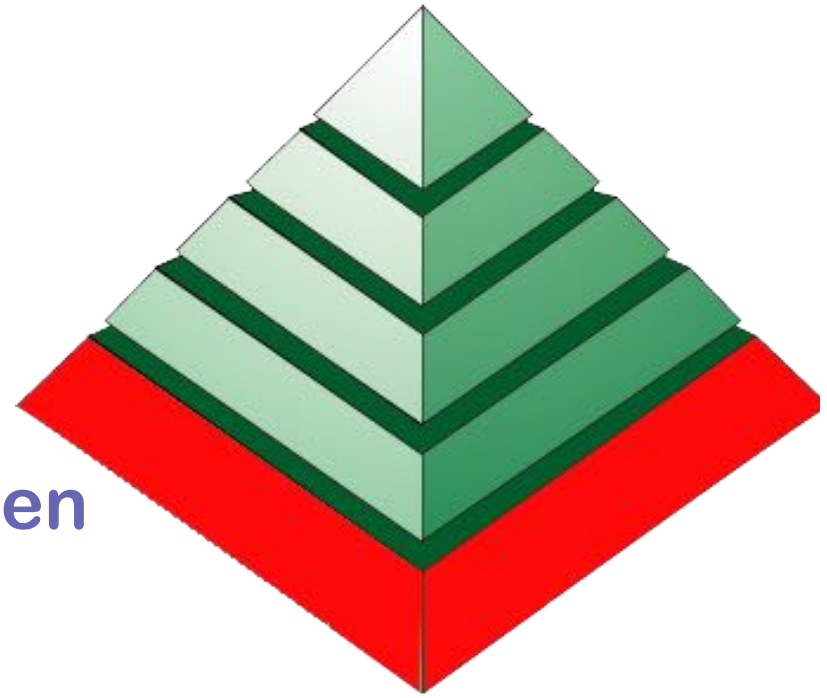
Zumutbarkeit

Schädigungslosigkeit

Ausführbarkeit

Beitrag zu Ausführbarkeit

- Hauptziel der Beleuchtung von Arbeitsstätten („Sehleistung“)
- Jedoch: Farben sehen und erkennen nur selten als Sehleistung betrachtet
- Teilweise sogar beeinträchtigt bei der Arbeit mit aktiven Anzeigen (z.B. Tätigkeiten mit hohen Anforderungen an Farberkennen)



Ausführbarkeit

Hiercharchie der Arbeitsgestaltung

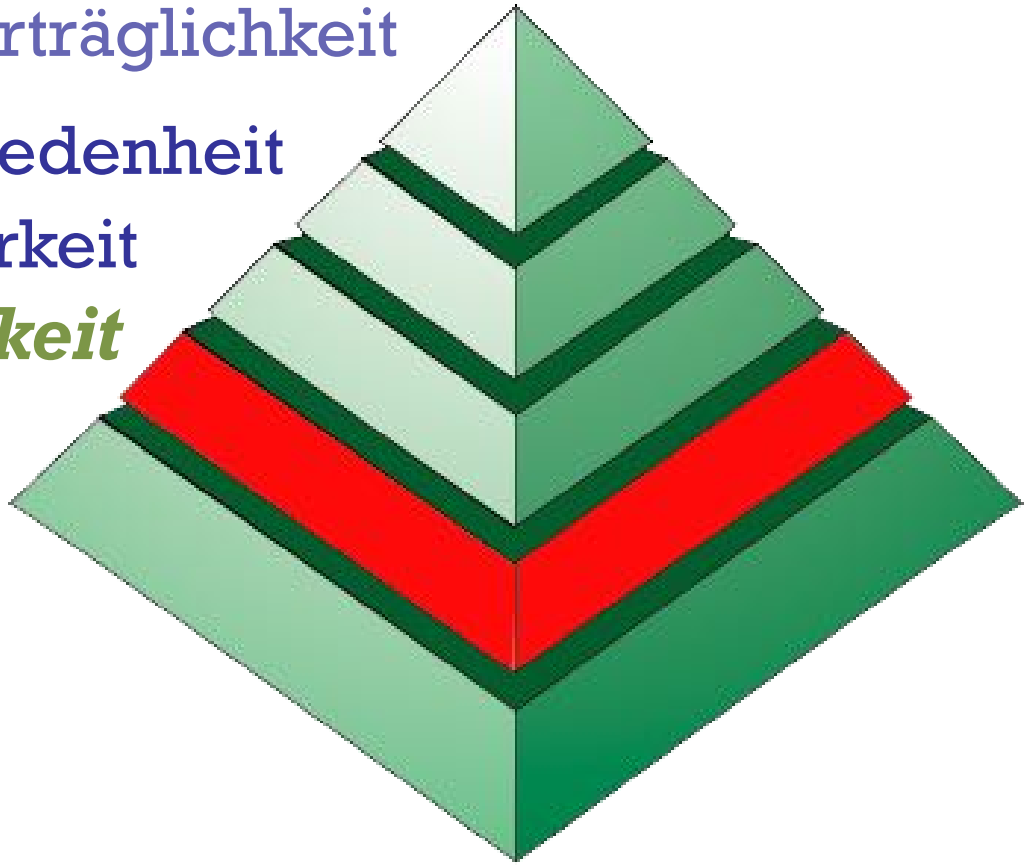
Sozialverträglichkeit

Zufriedenheit

Zumutbarkeit

Schädigungslosigkeit

Ausführbarkeit



Beitrag zu Schädigungslosigkeit

- Angestrebt insbesondere über Blendungsbegrenzung
- Mittelbar angestrebt über hohe Beleuchtungsniveaus
- Angestrebt über Maßnahmen zur Unfallvermeidung (direkt oder indirekt wirksam)
- Aus Sicht neuer Erkenntnisse nicht hinreichend, weil zu „statisch“

Schädigungslosigkeit

Abhilfe durch „dynamisches“ oder „blaues“ Licht für Beleuchtung

Hiercharchie der Arbeitsgestaltung

Beitrag zu Zumutbarkeit

- Angestrebt insbesondere über Blendungsbegrenzung
- Nicht hinreichend, weil sich das Empfinden des Menschen über eine beeinträchtigungsfreie Beleuchtung nur begrenzt mit Blendung korreliert ist
- Nicht hinreichend, weil Abwehr von negativen Wirkungen allein keine positive Empfindung hervorrufen kann
- Aus Sicht neuer Erkenntnisse nicht hinreichend, weil „circadiane“ Wirkungen nicht berücksichtigt (anderer Lichtbedarf zu verschiedenen Zeiten)

Zumutbarkeit

Hiercharchie der Arbeitsgestaltung

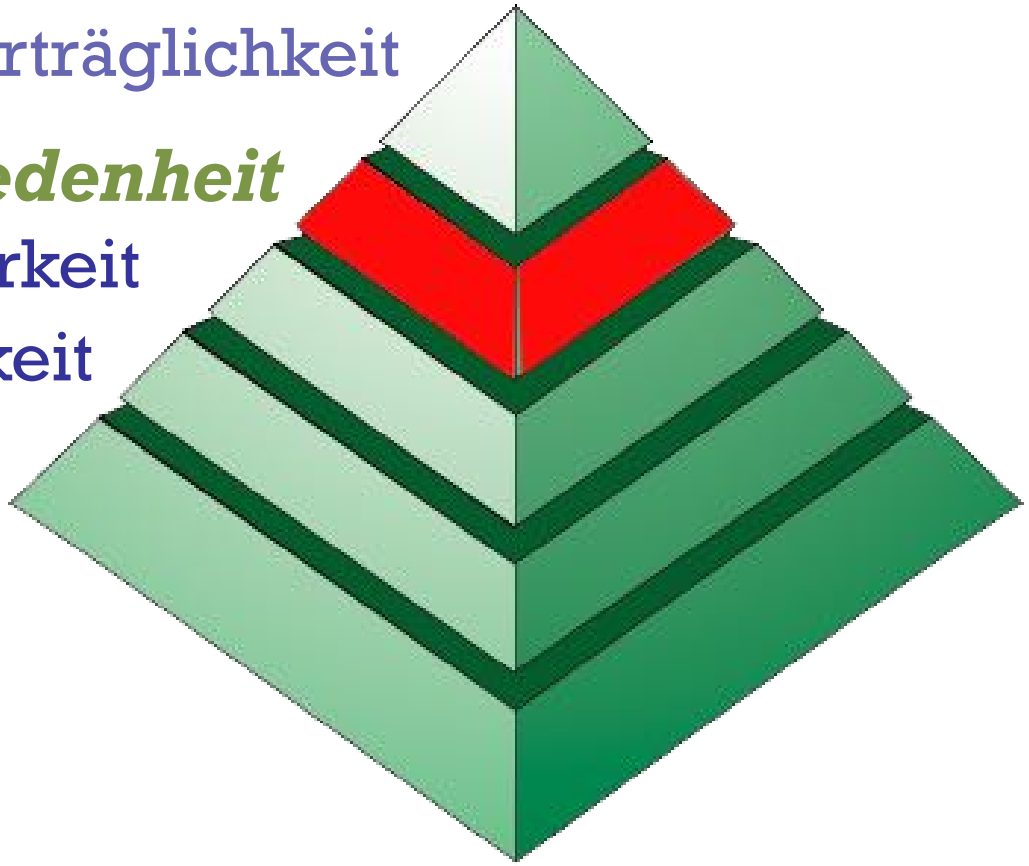
Sozialverträglichkeit

Zufriedenheit

Zumutbarkeit

Schädigungslosigkeit

Ausführbarkeit

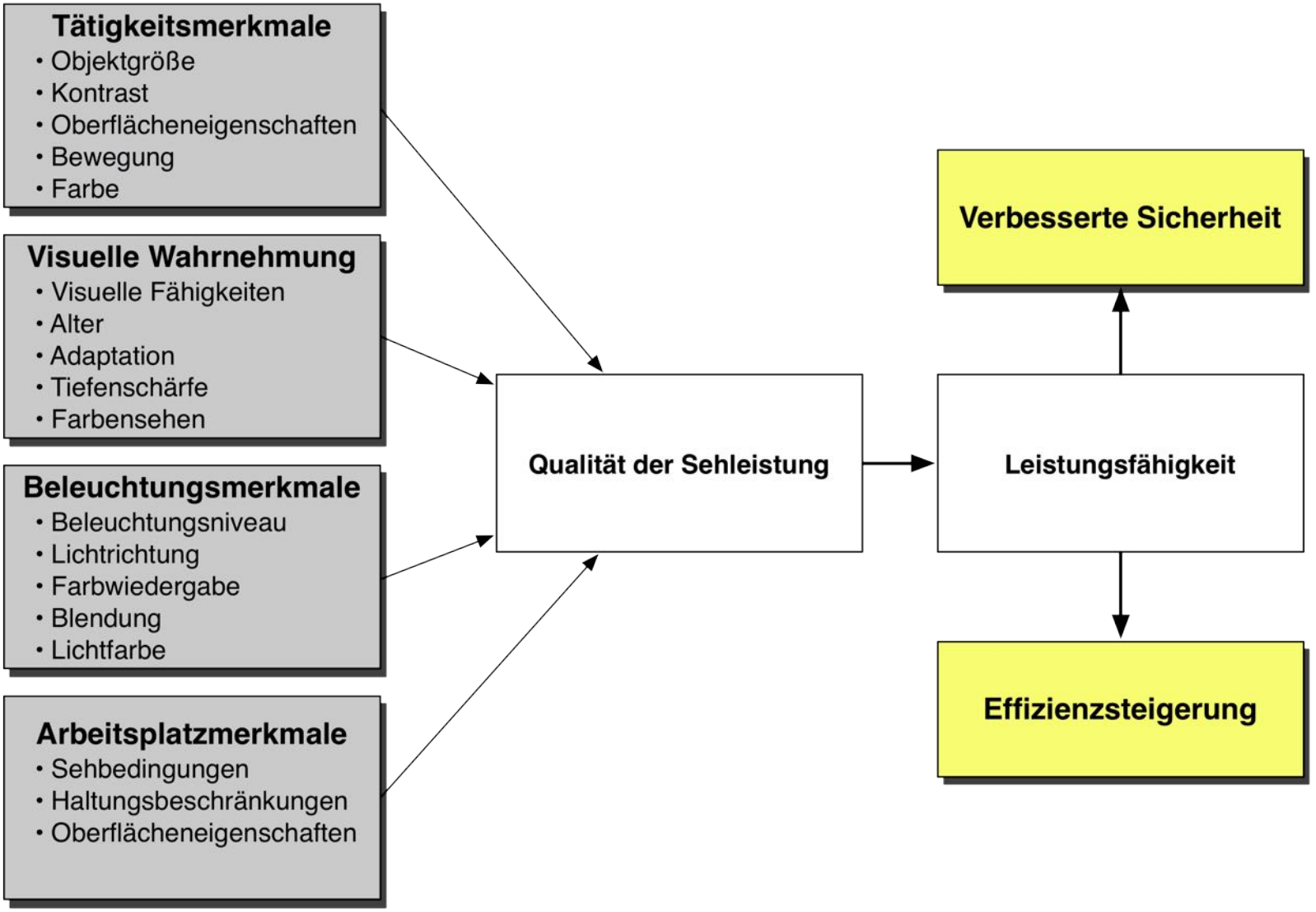


Beitrag zu Zufriedenheit

- Kein geschlossenes Konzept vorhanden
- Beleuchtungsnormen berücksichtigen individuelle Unterschiede in der Regel nicht
- Persönliche Einflussnahme auf die visuelle Umgebung erst seit Kurzem ein Thema
- Beziehungen zwischen Funktionalität („Sehleistung“) und Umweltgestaltung („Ambiente“) diffus

Zufriedenheit

Wirkungsmodell (direkt)



Wirkungsmodelle (indirekt)

- **Bessere Leistung durch Aktivierung (z.B. durch hellere Umgebung)**
- **Bessere Leistung durch höhere Motivation**
- **Bessere Leistung durch Verhinderung vorzeitiger Ermüdung**
- **Bessere Leistung bzw. größere Sicherheit durch Vermeidung von Leistungstiefs (z.B. Mittagstief, Wachsamkeit)**

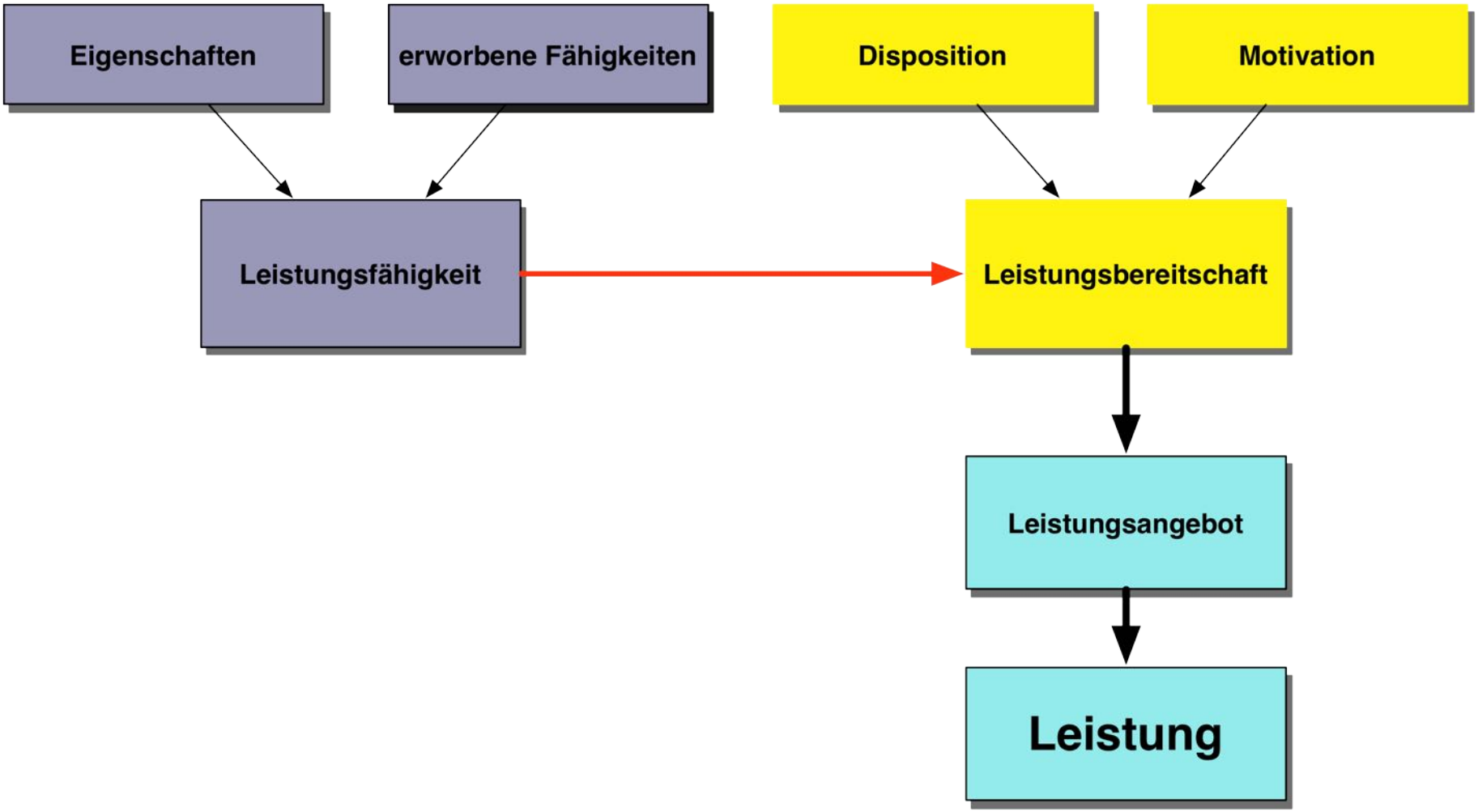
Kein Modell ist empirisch belegt. Erhöhung der Wachsamkeit in der Nacht durch höhere Beleuchtungsstärke könnte krebserregend sein.

Wirkungsmodelle (indirekt)

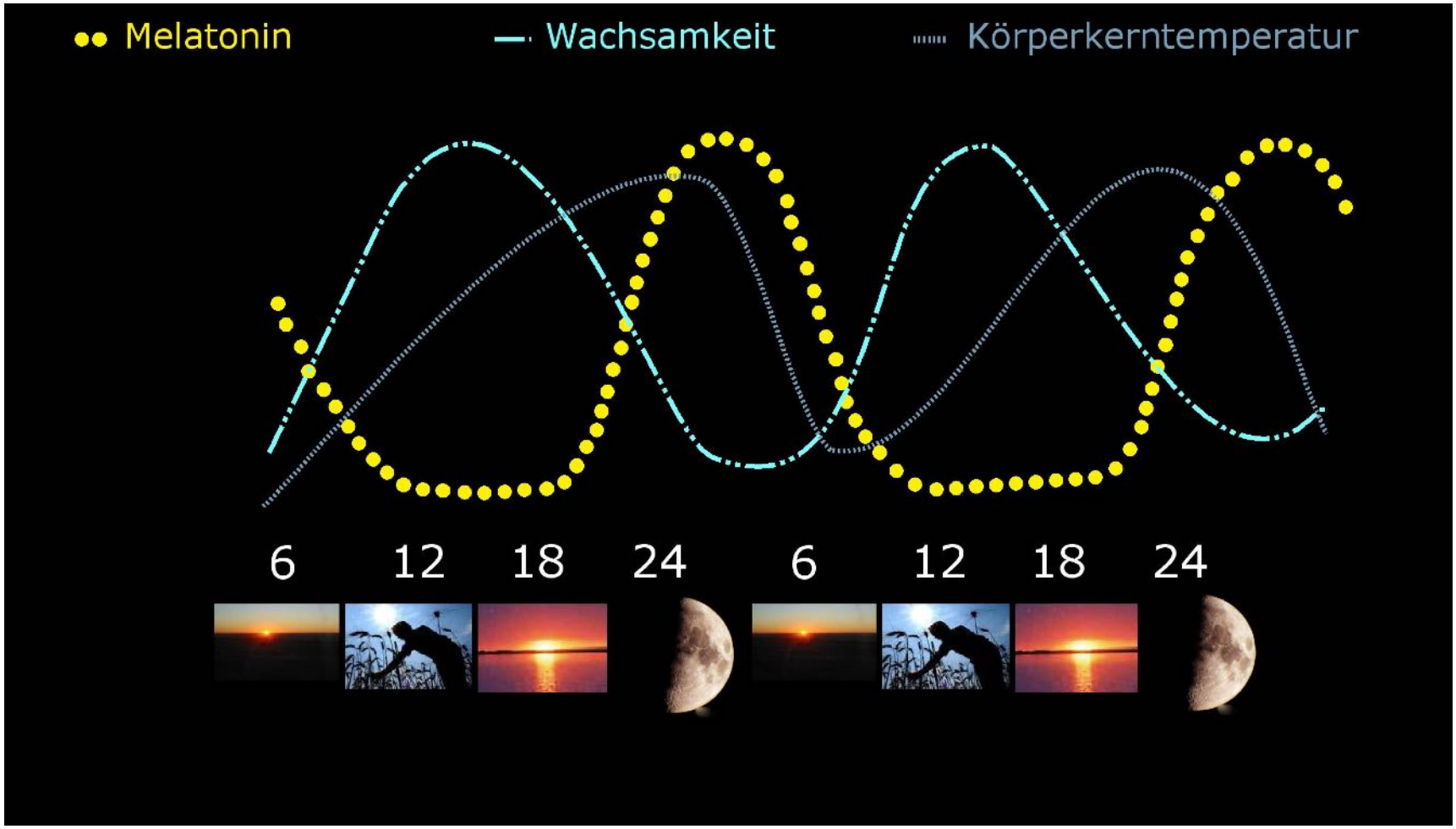
- „Die Anforderungen an die Beleuchtung werden bestimmt durch das Erfüllen folgender Bedürfnisse:
  - **Sehkomfort**, er vermittelt den arbeitenden Menschen das Gefühl des Wohlbefindens und trägt so indirekt zu einer hohen Produktivität bei,
  - **Sehleistung**, sie ermöglicht den arbeitenden Menschen, Sehaufgaben auch unter schwierigen Umständen und über längere Zeit auszuführen,
  - **Sicherheit**.“ (DIN EN 12464-1)

Sehkomfort ist nicht definiert. Sehleistung ist operational unbrauchbar definiert. Sicherheit darf nicht allein benutzt werden, weil mehrdeutig.

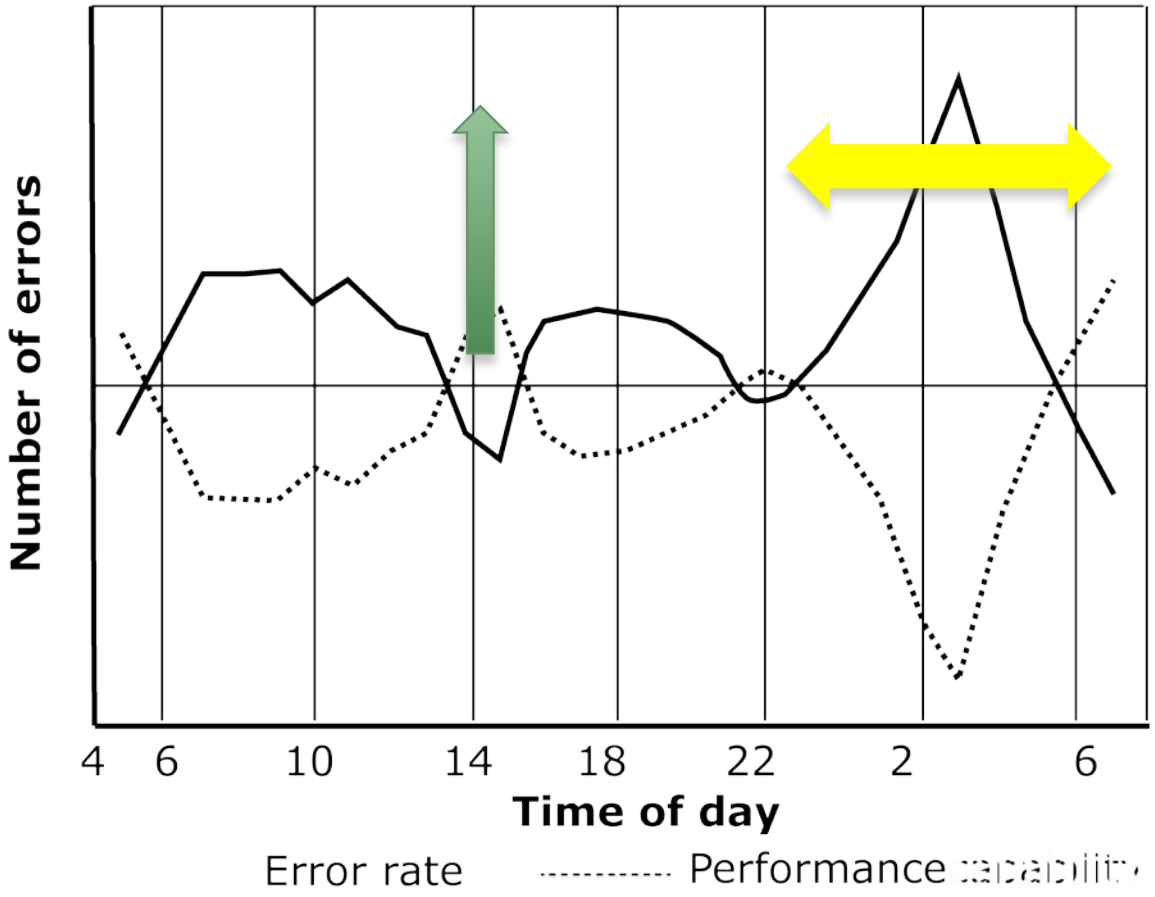
Leistungsbereitschaft und Leistung



Circadiane Rhythmik im Prinzip

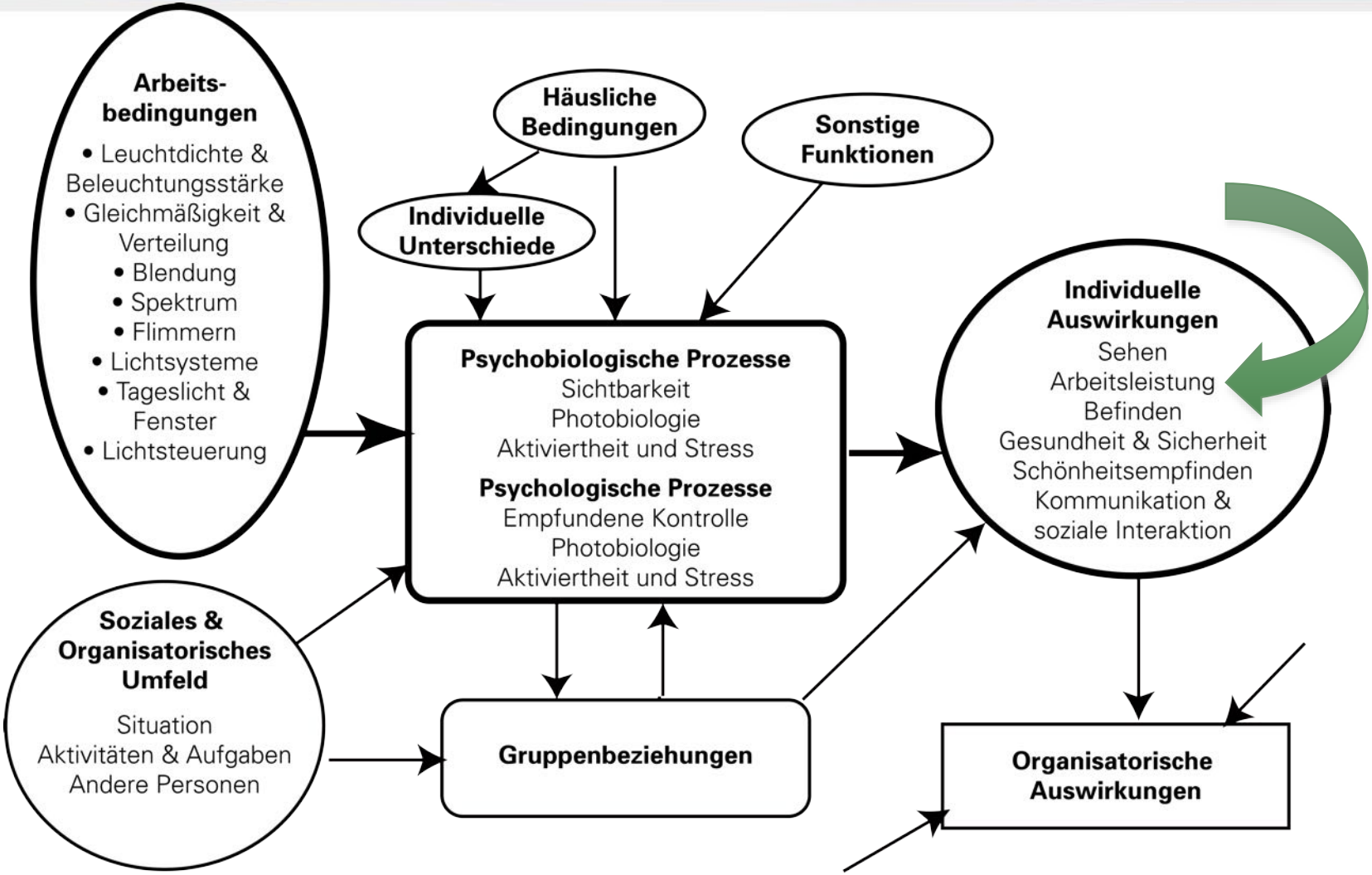


Leistungskurve nach Graf



Grün: Mittagstief anheben, Gelb: Tief (Nachtschicht) verschieben

Faktoren zur Beeinflussung durch Licht



nach Vietch, 2003

Faktoren zur Beeinflussung durch Licht

- Beeinflussung des Menschen durch Licht schwer nachweisbar
- Wirkungen können sich gegenseitig ausschließen
- Allein Tageslicht (UV) kann hunderte von Genen beeinflussen
- Das Fehlen von Wirkungen, die der Körper erwartet, kann auch eine starke Beeinflussung sein (z.B. kein helles Licht am Morgen)
- Ethische Probleme (z.B. „Dopingwirkung“)
- Individuelle Unterschiede sehr groß

Faktoren zur Beeinflussung durch Licht: Intensität

- Gängiges Maß in Normen: ***Beleuchtungsstärke***
- Maß für "physiologische" Blendung: ***Lichtstärke***
- Maßgeblich für "psychologische" Blendung: ***Leuchtdichte, Leuchtdichteverteilung***
- Maßgeblich für circadiane Wirkungen: ***Bestrahlung auf der Retina***

Keine der in der Planung der Beleuchtung berücksichtigten Größen ist ein Maß für die circadiane Wirkung einer Umgebung.

Fehlerkonzepte

- Fehler entstehen bei visuell geführten Tätigkeiten infolge …
  - … nicht sehen, was vorhanden ist
  - … sehen, was nicht vorhanden ist
  - … Realität anders sehen, als sie ist

Wirkungsebenen

- primär
  - unmittelbar bewirkt (z.B. Sehen, Pigmentierung)
- sekundär
  - mittelbar bewirkt (z.B. Aktivierung durch Helligkeit, Ermüdung, Hormonausschüttung etc.)
- tertiär
  - Folgewirkungen primärer und sekundärer Effekte (z.B. Krebsentstehung)

Unfallgeschehen

- Arbeitsunfälle
- Fehlhandlungen = Handlungen, die ihr Ziel nicht erreichen (Klassifizierung nach Rigby)
  - Sporadische Fehlhandlungen
  - Zufällige Fehlhandlungen
  - Systematische Fehlhandlungen

Arbeitsunfälle und Licht

- Erste Studie in 1910: 10% der Unfälle direkt auf Beleuchtung zurückzuführen
- Loef, 1971: Beleuchtungsabhängige Unfälle 30% bis 50%
- Unfallanalysen 1979: Beleuchtung als Unfallursache “nicht gänzlich auszuschließen”
- Rüschenschmidt, 1994: 11,7% Rückgang der Unfallzahlen im Sommer, sonst keine Ergebnisse

Arbeitsunfälle und Licht

- **Einzige Veröffentlichung:**
  CIE-Report 103/2 “Industrial Lighting and Safety at Work” (1993)
- **Nationale Vorschriften (14 Länder)**
- **Forschungsergebnisse als Basis der nationalen Vorschriften: 0**

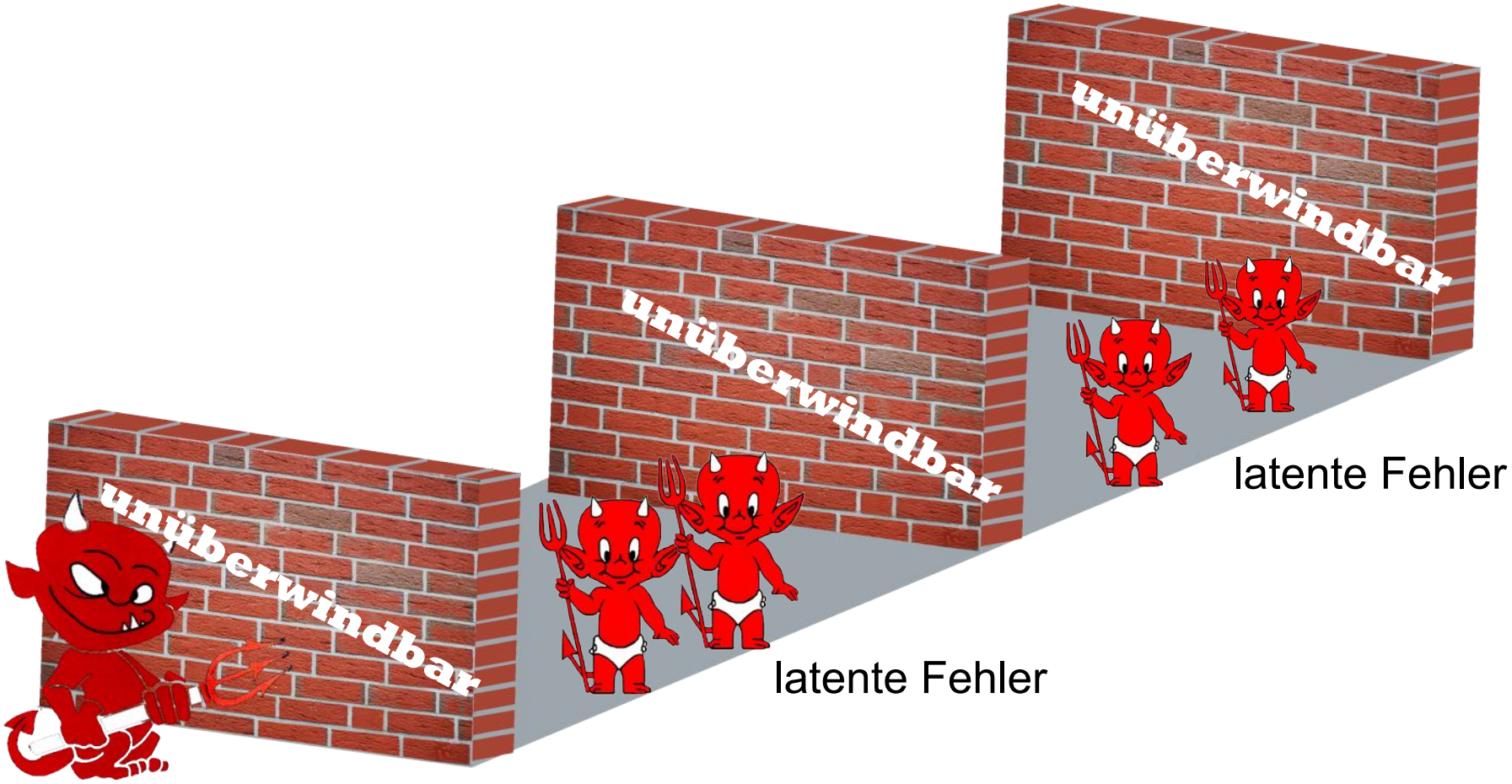
Arbeitsunfälle und Licht: Warum unklare Ergebnisse?

- Unfallgeschehen häufig durch komplexe Ursachenbeziehungen bedingt
- Analyse von Unfällen häufig “erschwert”
- Visuell bedingte Unfälle nicht durch Beleuchtung allein bedingt, sondern durch die gesamte visuelle Umgebung (Beleuchtung, Farbe, Glanz,Form)
- Analysepersonal nicht hinreichend in Licht, Beleuchtung und Sehen geschult.

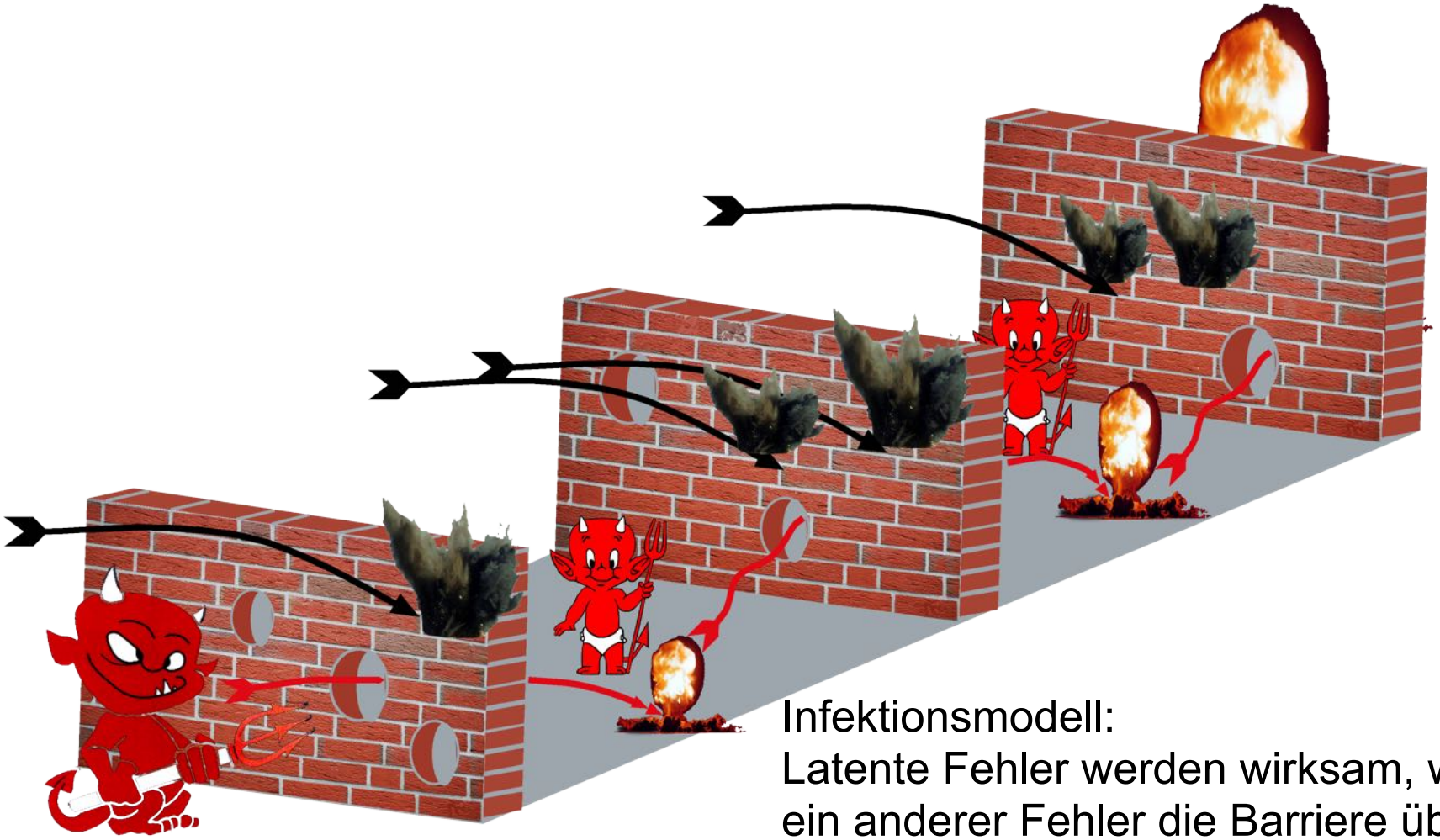
Arbeitsunfälle und Licht: Warum unklare Ergebnisse?

- Licht und Sehen sind selten Hauptfaktor, sondern “aggravator”, d.h. Mitverursacher bzw.Verstärker
- Licht kann als “latenter” Fehler vorhanden sein, der deswegen nicht entdeckt wird, weil die Schutzmechanismen das Wirksamwerden verhindern.

Barrieremodell gegen Unfälle



Barrieremodell real



Infektionsmodell:
Latente Fehler werden wirksam, wenn
ein anderer Fehler die Barriere überwindet

Was erreicht man durch höhere Intensität?

Was ändert sich hier, wenn die Beleuchtungsstärke verdoppelt wird?

Weniger Unfälle durch mehr Intensität?

- Beziehung zwischen Beleuchtungsstärke und Unfallgeschehen nur mühsam prüfbar
- Bei glänzenden Teilen (Abdeckungen, Werkstücke, rotierende Teile etc.) höhere Gefahr durch Reflexblendung
- In Warten (200 lx➜1.400 lx) starker Leistungsrückgang infolge Reflexblendung (Völker, 2000)
- In Warten von Kernkraftwerken (angestrebt ca. 2.000 lx) allgemein abgelehnt
- Hohe Beleuchtungsstärken in der Nacht können theoretisch Krebs auslösen

Bessere Leistung durch Licht?

- Einsatz von Maschinenleuchten ➜ Leistungssteigerung um 10% (Völker,2000)
- Anpassung der Beleuchtung an die Aufgabe (Richtung, Gerichtetheit) wesentlich wirksamer als die Erhöhung der Beleuchtungsstärke (Schmidt-Clausen, 1985)
- Optimierung von Arbeiten mit visueller Informationsaufnahme nur über Beleuchtung und Informationsträger und Umgebung (Erke, et al, 1988)

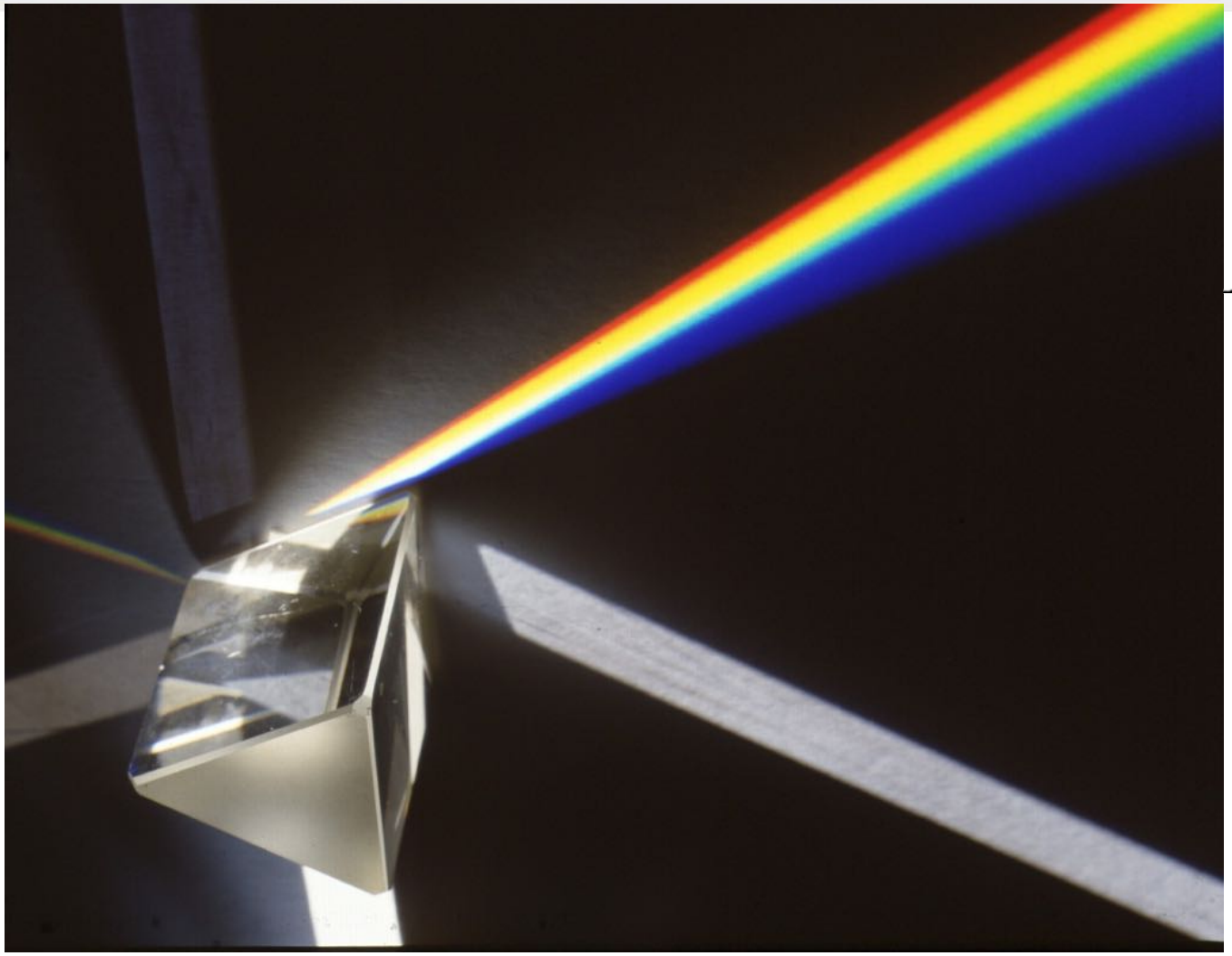
Primäre Wirkung: Bewusstes Sehen

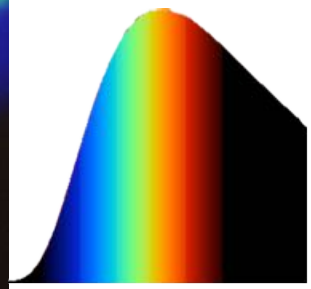
- Funktioniert entsprechend dem Reiz/Reaktions-Modell (S-O-R, Stimulus-Organismus-Reaktion)
- Funktioniert ohne „Gedächtnis“ (frühere Ereignisse haben keine Auswirkung, jetzige Ereignisse beeinflussen spätere nicht)
- Relevante „lichttechnische“ Größen werden aus physikalischen Äquivalenten mit Hilfe der Bewertungskurve der Zapfen berechnet, keine physiologischen Größen
- Wird durch Licht und Erfahrung bestimmt

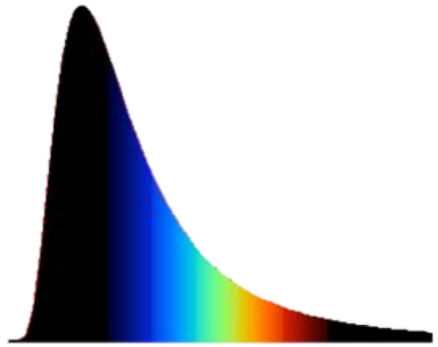
Sekundäre Wirkung: Hormonausschüttung

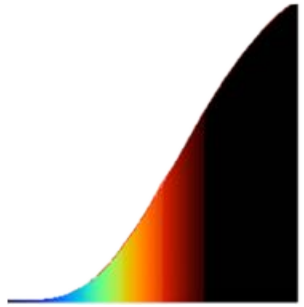
- Funktioniert nicht nach dem Reiz/Reaktions-Modell: Circadiane Wirkungen können durch „fehlende“ Reize verursacht werden (z.B. helles Licht am Morgen)
- Kann durch frühere Ereignisse beeinflusst werden (Lichtsituation morgens beeinflusst Menschen abends)
- **Gleicher** physikalischer Reiz kann zeitabhängig **unterschiedliche** Reaktionen auslösen
- Wird nicht nur durch Licht bestimmt
- „Licht“ i.S. der Lichttechnik als Reiz wenig aussagefähig, eher fehlerbehaftet

Spektrum als Wirkungsfaktor



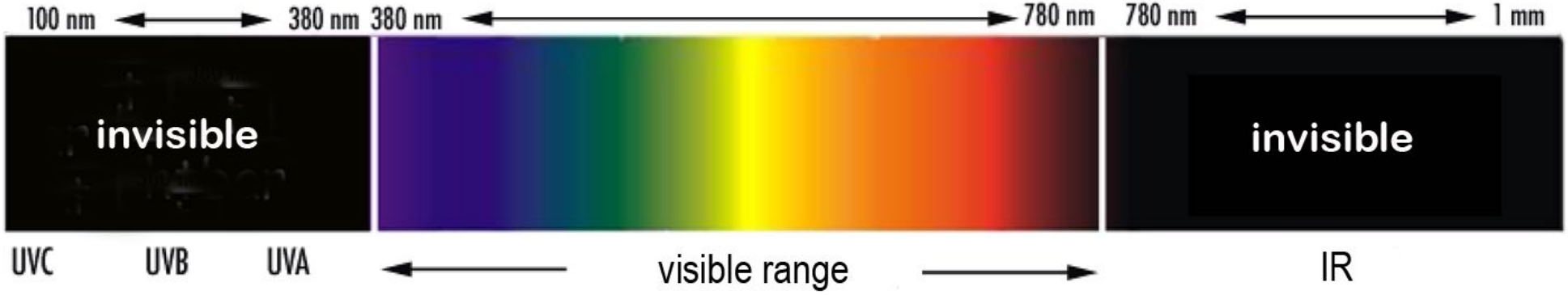






Optische Strahlung und Licht

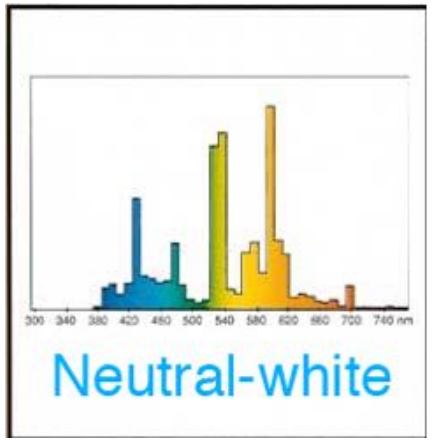
Bereich wirksamer Strahlung ist größer als der von sichtbarer Strahlung

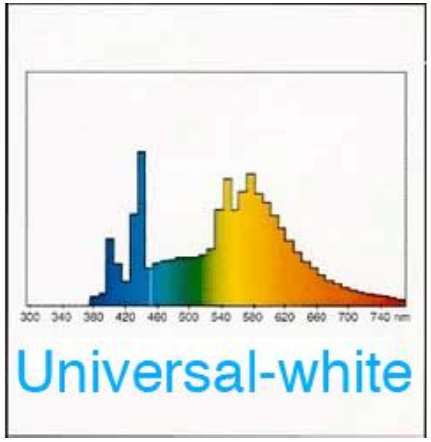


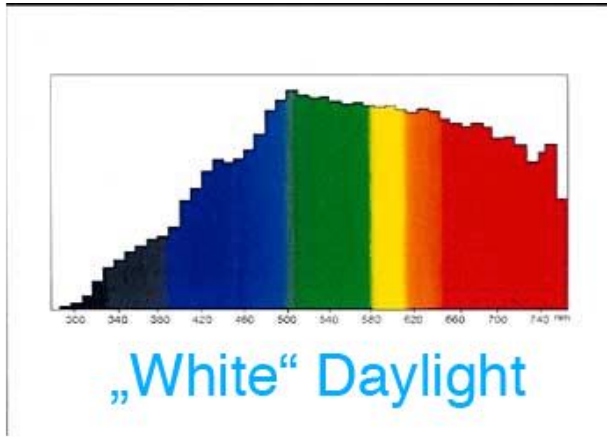
- **Physiologisch wirksame Strahlung in der Beleuchtungstechnik unberücksichtigt**
- **Circadiane Wirkungen können nur durch die gesamte optische Strahlung betrachtet werden.**
- **Circadiane Effekte reichen nicht aus, um physiologische Wirkungen zu beschrieben. Man muss auch die circannualen Wirkungen berücksichtigen.**

Spektren üblicher Lampen

Licht mit gleicher “Intensität” kann sehr unterschiedliche Spektren aufweisen

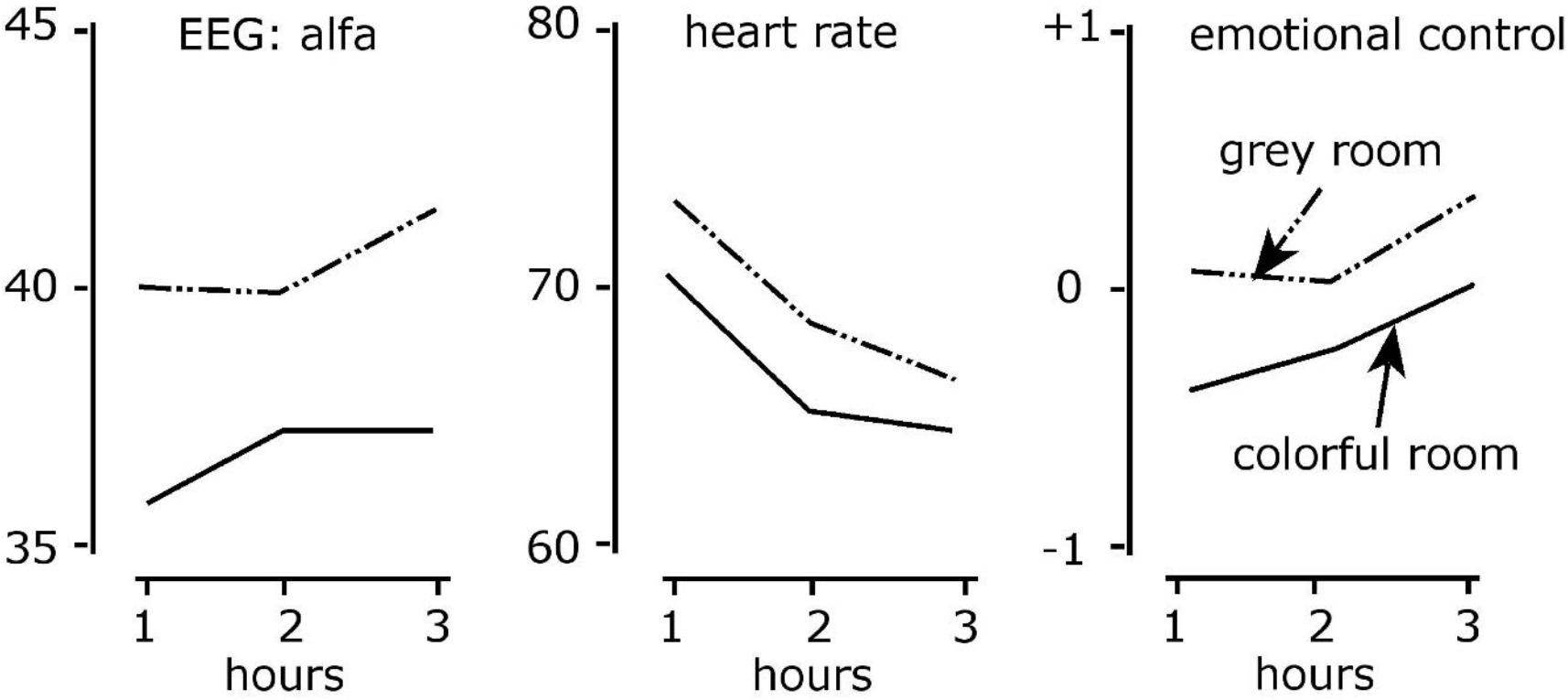






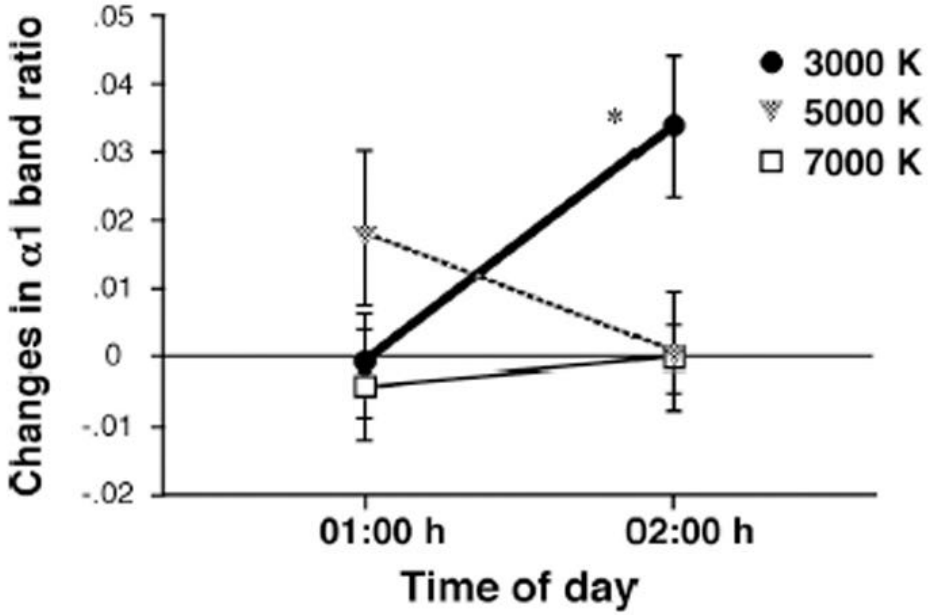
- **Das Lichtspektrum ungenügend berücksichtigt.**
- **Spektrum in der Regel unberücksichtigt, sondern nur Lichtfarbe.**
- **Circadiane Wirkungen sind stark spektral abhängig**

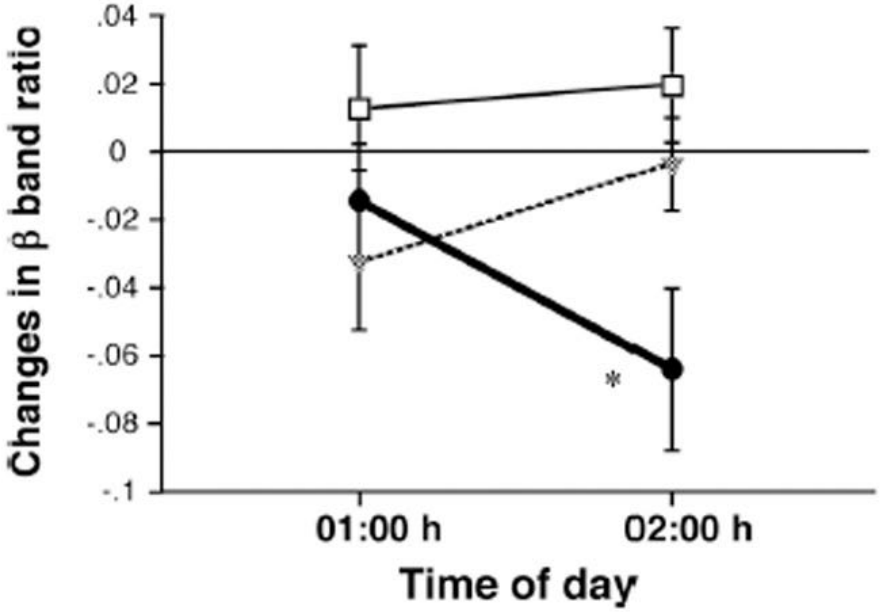
Physiologische Wirkung der Farbe



- **Farbe kann nicht nur emotionale Wirkungen auslösen** (Bilder aus Küller, 1987)

Physiologische Wirkung des Spektrums

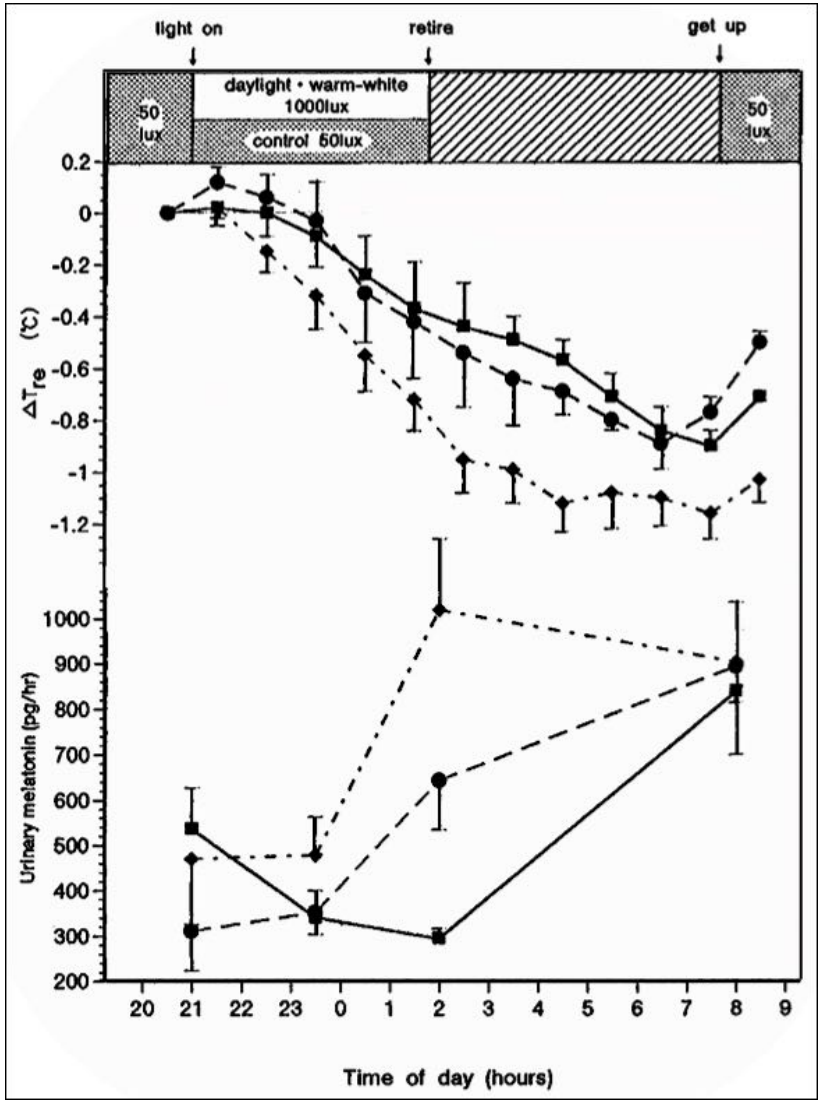




- **Das Spektrum wirkt sich physiologisch aus**

  (Bilder aus Küller, 1987)

Physiologische Wirkung des Spektrums

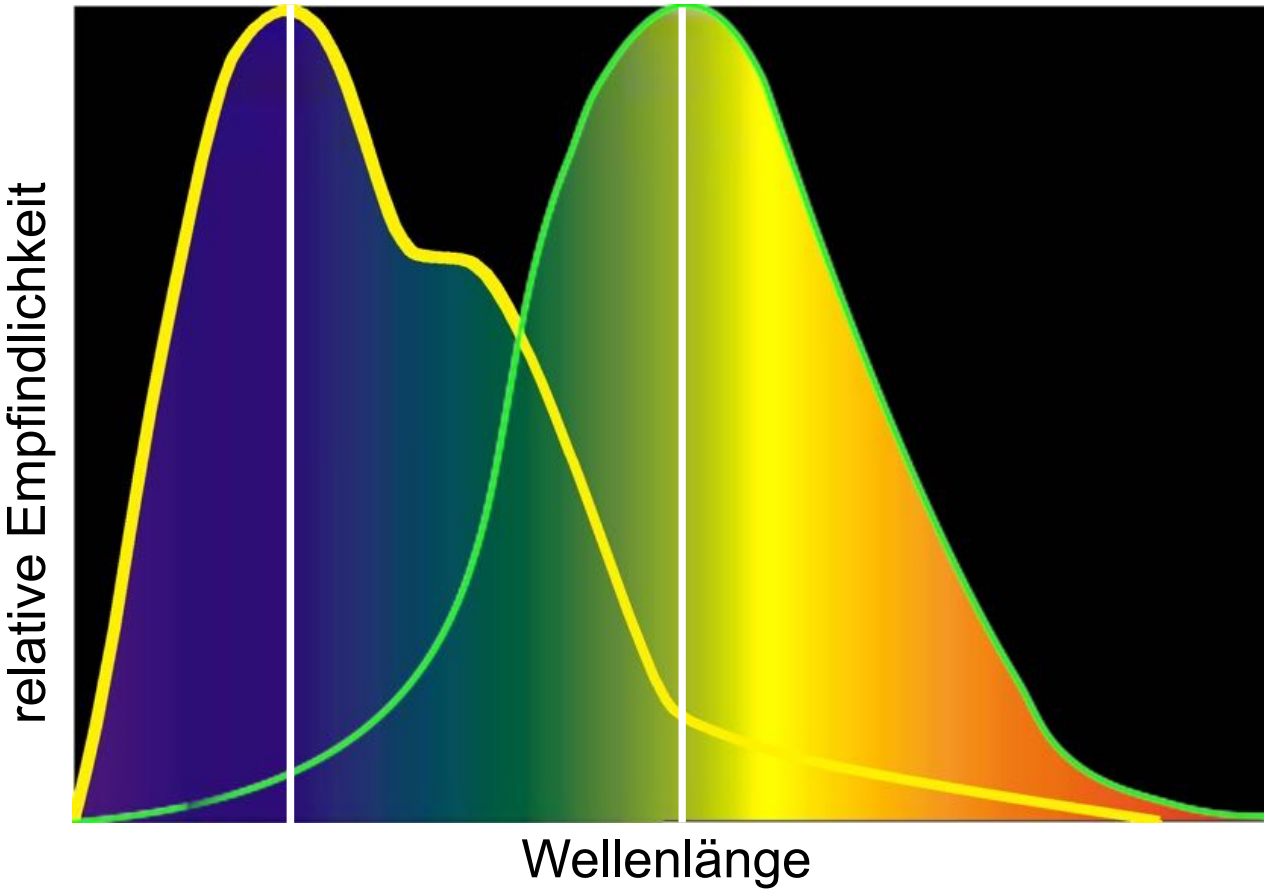


- Tageslicht (6500 K)
- Warm-weiß (3000 K)
- Kontrollgruppe (50 lx)

- **Das Spektrum wirkt sich physiologisch aus**
- **Die Wirkung hält nach dem Lichtereignis an**

(Bild aus Morita and Tokura, 1996)

Sekundäre Wirkung: Hormonausschüttung



- **Das wirksame Spektrum für physiologische Effekte ist anders als für Licht**
- **„Lichttechnische“ Größen nur bedingt geeignet**

Licht, Effizienz und Unfallrisiko
Danke für die Aufmerksamkeit