

Eine Publikation von **www.educeth.ch** - dem Bildungsportal der ETH Zürich

## Licht am Arbeitsplatz

von  
Claudia Haas

**Datum:**

Publikation der Unterrichtseinheit auf EducETH ab 23. Juni 2006

**Inhalt:**

In der heutigen Zeit arbeiten die meisten Menschen im Dienstleistungssektor. Das bedeutet für viele, die Arbeitszeit am Computer sitzend und mit wenig Bewegung zu verbringen. Unsere Vorfahren litten unter gesundheitlichen Problemen durch körperliche Fehlbeanspruchungen und häufigen Maschinenunfällen. Heute liegen die Probleme im Bereich der schwer erfassbaren Befindlichkeitsbeeinträchtigungen. Häufig genannte arbeitsbedingte Beschwerden sind: Rückenschmerzen, Stress, Muskelschmerzen, Kopfschmerzen, Augenprobleme und Schlafprobleme.

Das Licht am Arbeitsplatz kann einer der Faktoren sein, der die Arbeitsleistung beeinflusst. Sind die Augen durch tägliche Bildschirmarbeit überlastet, reduziert sich die Arbeitsfähigkeit des Betroffenen.

**Entdeckungsmöglichkeiten:**

Die Schülerinnen und Schüler lernen den Stellenwert der Beleuchtung am Arbeitsplatz kennen und erfahren die Wirkung auf den Menschen im Experiment.

**Fachdidaktisches Review:**

Monika Biedermann und Dr. Christian Grütter

**Fachliches Review**

Prof. Kurt Murer und Dr. Christoph Schierz

**Rechtliches:**

Die vorliegende Unterrichtseinheit darf ohne Einschränkung heruntergeladen und für Unterrichtszwecke kostenlos verwendet werden. Dabei sind auch Änderungen und Anpassungen erlaubt. Der Hinweis auf die Herkunft der Materialien (ETH Zürich, EducETH) sowie die Angabe der Autorinnen und Autoren darf nicht entfernt werden.

**Weitere Informationen:**

Zusatzinformationen zu dieser Unterrichtseinheit und mehr über EducETH im Internet unter [www.educ.ethz.ch](http://www.educ.ethz.ch) oder unter [www.educeth.ch](http://www.educeth.ch).

**Gelenktes Entdeckendes Lernen zum Thema:  
Licht am Arbeitsplatz**

**Adressaten:**

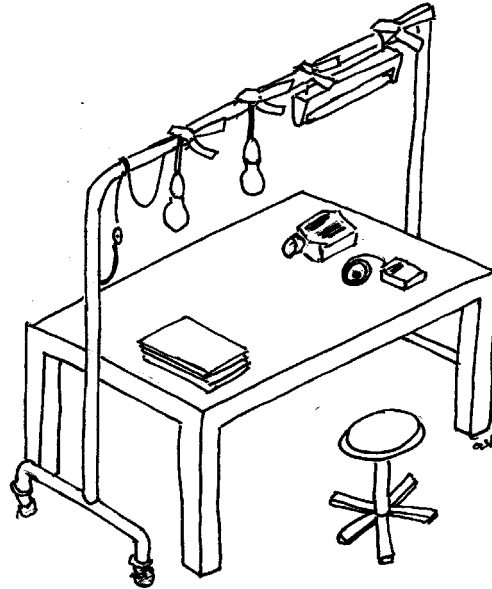
Berufsschulen und Fachhochschulen mit  
Physikunterricht, Gymnasien

**Fach:**

Physik

**Voraussetzung:**

Lernende müssen bereits ein  
Physikpraktikum absolviert haben, aus  
dem sie etwas Erfahrung und Verständnis  
für physikalische Experimente mitbringen.  
Es brauchen im Vorfeld keine bestimmten  
physikalischen Grundlagen erlernt  
werden.



**Material:**

Verschiedene Lampen, Photometer, Luxmeter, verschiedene Vorlagen (farbig oder weiss, mit  
und ohne Aufdruck), Brett, Lampenschirm

**Entdeckungsmöglichkeit:**

Kontrast/Sehschärfe, Farbwiedergabe, Blendung, Reflexion, Lichtkombinationen,  
Gemeinsamkeiten/Unterschiede von Lichtquellen, indirekte Beleuchtung, Atmosphäre der  
Beleuchtung

**Dauer der gesamten Unterrichtseinheit:** 3 bis 4 Stunden, (½ Tag )

**Dauer des selbständigen Entdeckens:** 90 Minuten

**Autorin:** Claudia Haas

**Betreuer/in:** Monika Biedermann und Prof. Dr. Kurt Murer

**Fassung vom 20. November 2006**

**Schulerprobung:** diese Arbeit wurde noch nicht erprobt.

## **Inhaltsverzeichnis**

Teil 1: Material für die Lernenden .....	3
Teil 2: Dokumente für die Lehrperson.....	6
A. Notwendiges Vorwissen .....	6
B. Versuche und potenzielle Erkenntnisse .....	6
1. Beleuchtungsstärke.....	6
2. Unterschiedliche Lichtquellen.....	6
3. Höhe der Lichtquelle .....	6
4. Neigung .....	7
5. Kontraste .....	7
6. Lesbarkeit .....	8
7. Blendung .....	8
8. Wohlbefinden .....	8
9. Farbiges Licht.....	9
C. Prüfung – Bewertung von Bericht, Dokumentation, Notizen .....	10
D. Literaturverzeichnis.....	10
Anhang .....	11

## Teil 1: Material für die Lernenden

An mehreren Arbeitsplätzen finden die Lernenden folgende Ausstattung vor:

- Einen Arbeitstisch und einen Bürostuhl
- Verschiedene Lichtquellen:

### Glühlampen (7W, 25W, 40W, 60W, 75W, 100W)

Diese drei Glühlampentypen stehen in den oben aufgeführten Wattstärken zur Verfügung:

OSRAM: CLAS A klar (starke Blendung)  
Gewinde E27

OSRAM: CLAS A matt (mittlere Blendung)  
Gewinde E27

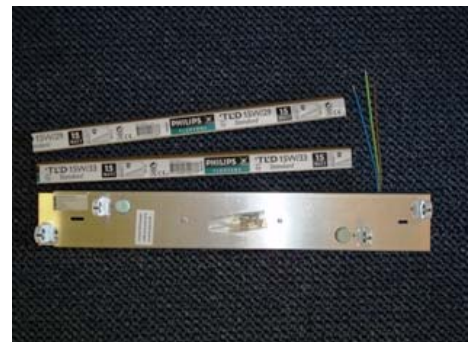
OSRAM: CLAS A soft white (wenig Blendung)  
Gewinde E27



### Leuchtstofflampen (18W, 30W, 36W)

Die aufgeführten Wattstärken gibt es in zwei Ausführungen, die sich in ihrer Lichtfarbe unterscheiden.

PHILIPS: 830 (extra-warmweiss)  
865 (tageslichtweiss)  
oder die energiegeeigneren und  
in der Farbwiedergabe besseren



PHILIPS: 827 (extra-warmweiss)  
860 (tageslichtweiss)

### Halogenlampen (50W, 75W)

OSRAM: HALOPAR 20; 50W  
E27; Winkel von 35°

PHILIPS: PAR30S Halogen A; 75W  
E27; Winkel von 30°



### Energiesparlampen (5W, 10W)

OSRAM: DULUX EL LONGLIFE  
5W Verbrauch = 25W Leistung  
Gewinde E27

SWISS LIGHTS: Globe M  
10W Verbrauch = 40W Leistung  
Gewinde E27



- Lichtquellen in verschiedenen Farben:

Die Glühlampen gibt es in Gelb, Rot, Blau und Grün. Die Leuchtstofflampen sind in den oben aufgeführten Abstufungen bereit zu stellen: extra-warmweiss und tageslichtweiss.

- Stromkabel mit den passenden Fassungen für Glühlampen, Leuchtstofflampen, Halogen- und Energiesparlampen. Die gesamte Anlage sollte aus Sicherheitsgründen von einem Elektriker aufgebaut werden. Ein Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter) ist zwingend notwendig, denn Fassungen ohne Glühlampe stellen eine grosse Gefahr dar, weil man versehentlich die Phase berühren könnte.

Die Fassungen sind auf den Fotos der Lampen zu sehen. Für Glühlampen, Halogen- und Energiesparlampen ist eine Fassung E27 mit Steckdosenanschluss und Schalter erhältlich. Davon werden vier Stück pro Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt.

Die Fassungen für Leuchtstofflampen müssen mit einem Geräteanschlusskabel verbunden werden. Dazu werden Lüsterklemmen ( $1.5 \text{ mm}^2$ ) verwendet. Das Geräteanschlusskabel gibt es 3-polig mit Erdung. Es liegen für alle Wattstärken die entsprechenden Fassungen bereit, die Einzelkomponenten werden vom Elektriker zusammengebaut.



Bei zu kurzen Kabeln kann ein 5 m Verlängerungskabel verwendet werden.

Grösserer Bedarf kann mit einer Kabelrolle gedeckt werden, die es ab 10 m Länge gibt.

Eine grosse Steckdosenleiste hat Platz für sechs Stecker.



(Fotos: C. Haas)

- Einen Ständer mit 1.80 m Höhe, damit über dem Arbeitstisch die Lampen befestigt werden können, z.B. ein rollender Kleiderständer.

(Abbildung aus dem Internet: [www.kleiderstaender.ch](http://www.kleiderstaender.ch))



- Ein Massband zur Abstandsbestimmung
- Klammern, um die Stromkabel nach der Höhenverstellung der Lampen über dem Arbeitstisch zu fixieren



- Sechs Bänder mit 5 m Länge zur Befestigung der Leuchtstoffröhrenfassungen
- Luxmeter zur Messung der Beleuchtungsstärke (LMT)



- Photometer zur Messung der Leuchtdichte (LMT)
- Definition photometrischer Einheiten und drei beschreibend-bildliche Darstellungen (siehe Anhang I)

Grösse	Definition	St-Einheit
Leuchtstrom $\Phi$	$\Phi = 683 \text{ lm/W} \cdot \int_{\Omega} W(\lambda) \cdot I(\lambda) d\lambda$	Lumen (lm)
Leuchtdichte $L$	$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos(\theta)}$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} = \text{cd/m}^2$
Beleuchtungsstärke $E$	$E = \frac{d\Phi}{dA} = \int_{\Omega} L \cdot \cos(\theta) \cdot d\Omega$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Lux (lx)}$
visuelle Lichtausstrahlung $M$	$M = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} = \int_{\Omega} L_v \cdot \cos(\theta) \cdot d\Omega$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$
Leuchtdichte $L_v$	$L_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos(\theta)}$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} = \text{Candela (cd)}$
Lichtmenge $Q$	$Q = \int_{\Omega} \Phi d\Omega$	$\text{lm} \cdot \text{s} = 2.6 \cdot 10^{18} \text{ Phot} \cdot \text{s}$
Beleuchtung $H$	$H = \int_{\Omega} E \cdot dt$	$\text{lm} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = \text{lx} \cdot \text{s}$

(Fotos und Tabelle: H. Krueger)

- Weisses, farbiges (rot, orange, gelb, grün, blau) und Umweltschutzpapier
- Verschiedenfarbige Vorlagen mit farbigen Zeichen in unterschiedlichen Grössen, z.B. weisse Schrift auf blauem Hintergrund oder rote Schrift auf grünem Hintergrund; schwarze, dünne Striche auf weissem Hintergrund. (siehe Anhang II)
- Objekte mit wenig Kontrast: mehrere Blätter mit unterschiedlich kontrastreichem Aufdruck (siehe Anhang III)
- Ein rechteckiges Brett: Länge 1 m, Breite 0.5 m, Stärke 0.02 m
- Einen Lampenschirm für die direkte und indirekte Beleuchtung
- Einen Backhandschuh, um die Lampen bei Bedarf auszuwechseln
- Lampeninventarliste: Die Lampenbezeichnungen aus dem Informationsangebot (siehe Anhang IV)

## Teil 2: Dokumente für die Lehrperson

### A. Notwendiges Vorwissen

Die Lernenden müssen bereits ein Physikpraktikum absolviert haben, in dem sie einiges über Vorgehensweisen gelernt und ein Gefühl für physikalische Experimente erhalten haben. Es brauchen im Vorfeld keine bestimmten physikalischen Grundlagen erworben werden.

### B. Versuche und potenzielle Erkenntnisse

#### 1. Beleuchtungsstärke

Die Lernenden halten die Beleuchtungsstärke auf der Tischplatte konstant und messen die Leuchtdichte, die beim Betrachten von weissem, farbigem oder Umweltschutzpapier auf die Fovea fällt. Dabei können sie feststellen, ob die unterschiedlichen Papiere verschiedene Leuchtdichten erzeugen.

##### Entdeckung/mögliche Antwort:

Im Versuch hält man die Beleuchtungsstärke bei 75W (Glühlampe matt, weiss) konstant.

Dabei wird untersucht, wie sich die Leuchtdichte verändert, wenn diese konstante

Beleuchtung auf verschiedene Vorlagen (weiss, rot, gelb, blau, grün) trifft.

Weisses Papier hat die höchste Leuchtdichte, also reflektieren die Papiervarianten die gleiche Lichtmenge unterschiedlich stark. Daraus folgt: Eine Konstante multipliziert mit der Beleuchtungsstärke ergibt die Leuchtdichte. Die Konstante ist abhängig von der Reflexion.

#### 2. Unschiedliche Lichtquellen

Die Experimente können mit verschiedenen Lichtquellen, Wattstärken und mit unterschiedlichen Farben durchgeführt werden. Die Lernenden können Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Lichtquellen entdecken.

##### Entdeckung/mögliche Antwort:

Ein Umweltschutzpapier wird zum Vergleich mit einer Glühlampe matt, gelb und 60W und mit einer Energiesparlampe „weiss“, 10W beleuchtet. Man stellt fest, dass die Glühlampe fast die gleiche Leuchtdichte erzeugt wie die Energiesparlampe. Man könnte vermuten, dass das Umweltschutzpapier diese beiden Lichtquellen unterschiedlich stark absorbiert. Dazu müssten die Beleuchtungsstärken jedoch unterschiedlich sein.

Die Messung der beiden Beleuchtungsstärken ergab jedoch einen fast gleichen Wert. Das bedeutet, dass die Energiesparlampe mit 10W Energieeinsatz etwa gleich viel Licht abgibt, wie eine Glühlampe mit 40W bis 50W. Die gelbe Glühlampe hingegen verliert durch die gelbe Färbung etwas Licht.

#### 3. Höhe der Lichtquelle

Es kann untersucht werden, ob die Höhe der Lichtquelle Einfluss auf die Leuchtdichte hat. Mit den verschiedenen Lampen und unterschiedlichen Papieren kann auch hier experimentiert werden.

Entdeckung/mögliche Antwort:

Die Beleuchtungsstärke einer Glühlampe matt, weiss, 60W wird bei 0.1 m bis 1 m Höhe über dem Arbeitstisch mit einem Intervall von 0.1 m gemessen. Das Ergebnis zeigt, dass die Beleuchtungsstärke mit ungefähr dem Quadrat der Distanz sinkt.

Eine Schlussfolgerung daraus könnte sein, dass es einen klar definierten maximalen Abstand gibt, bei dem ein Arbeitsblatt mit schlechtem Kontrast (z.B. ein rotes Papier mit schwarzer 10er Schrift) noch gut lesbar ist. Wird der Abstand zu gross, nimmt die Lesbarkeit sofort ab. Es gibt keinen schleichende Übergangsbereich, weil die Beleuchtungsstärke und damit auch der Leuchtdichte mit dem Quadrat der Distanz abnimmt. Einerseits darf der Abstand für eine gute Lesbarkeit nicht zu gross sein, andererseits können schwarze Striche auf Weissem Papier bei einer zu hellen Beleuchtung durch einen kleinen Abstand kaum gesehen werden. Die Vermutung liegt nah, dass der weisse Hintergrund dann die schwarzen Striche überstrahlt.

#### 4. Neigung

Mit dem rechteckigen Brett kann getestet werden, wie viel Licht auf eine ebene und auf eine geneigte Fläche trifft.

Entdeckung/mögliche Antwort:

Mit einer Halogenlampe 50W wird der Einfluss des Lichtwinkels auf die Beleuchtung des Bretts untersucht. Dabei kann man feststellen, dass ein senkrecht Auftreffen des Lichts die grösste Beleuchtungsstärke auf dem Brett garantiert. Je stärker das Brett geneigt ist, desto kleiner wird die Beleuchtungsstärke.

Schlussfolgerung: Auf einer geneigten Fläche, die nicht senkrecht angestrahlt wird, kann eine Vorlage mit schlechtem Kontrast, z.B. rotes Papier mit grüner Schrift, schlecht gelesen werden. Die Lesbarkeit kann durch eine hellere Lichtquelle verbessert werden, die jedoch das Wohlbefinden beeinträchtigen kann. Daher ist es günstiger, wenn das Licht senkrecht auf die Leseoberfläche fällt. Arbeitstische sollten deshalb nicht geneigt sein oder die Beleuchtung muss in diesem Fall senkrecht zur Oberfläche angebracht werden.

Eine senkrechte Beleuchtung kann auf der Vorlage Spiegelungen verursachen, dieses wurde nicht untersucht. Möglicherweise beeinträchtigen sie das Lesen und erfordern eine leicht geneigte Fläche.

#### 5. Kontraste

Wenn ein kontrastarmes Objekt mit verschiedenen Beleuchtungsstärken bestrahlt wird, verändern sich die Kontraste. Auch hier kann mit den verschiedenen Lichtquellen, Lichtfarben und Winkel der Lichtquellen zum Objekt experimentiert werden. Zusätzlich können die Lernenden die indirekte Beleuchtung ausprobieren, indem sie die Lichtquelle mit einem Lampenschirm versehen und an die Wand richten.

Entdeckung/mögliche Antwort:

Ein kontrastarmes Bild wird mit einer 100W Glühlampe (klar, weiss) beleuchtet. Dabei wird geprüft, ob sich die Lesbarkeit verbessert, wenn man zusätzlich einen Lampenschirm benutzt und die Lichtquelle an die Wand richtet.

Die Prüfung liefert kein eindeutiges Ergebnis. Den besten Kontrast erzeugt in diesem Experiment eine Kombination aus der senkrechten Beleuchtung von oben und der



indirekten Beleuchtung. Beide Methoden einzeln haben Vor- und Nachteile, ergeben aber in der Kombination eine gute Beleuchtung.

Zusätzlich lassen sich die Wattstärken der beiden Lichtquellen verändern. Bei höherer Beleuchtungsstärke kann man die Kontraste besser sehen. Wenn die senkrechte Lichtquelle leicht geneigt wird, erhält man teilweise eine noch bessere Lesbarkeit.

Diese Versuche zeigen, dass die Beleuchtung eine breite Palette an Möglichkeiten bietet und sie daher auf den jeweiligen Arbeitsplatz abgestimmt werden muss.

## 6. Lesbarkeit

Die Lernenden haben farbige Blätter mit verschiedenfarbigen Zeichen zur Verfügung. Damit können sie testen, bei welcher Helligkeit, d.h. Leuchtdichte, die Schrift am besten gelesen werden kann und wie gut die Farben unterschieden werden können.

### Entdeckung/mögliche Antwort:

Rotes Papier mit grüner Schrift wird durch einen matten Glühlampentyp mit unterschiedlichen Wattstärken beleuchtet. Damit soll herausgefunden werden, ob die Schärfe/Lesbarkeit mit höherer Wattzahl zu- oder abnimmt. Die grüne Schrift unterscheidet sich vom roten Hintergrund besser und wurde schärfer, wenn man die Leuchtdichte durch eine höhere Wattzahl steigerte.

Eine gute Ausleuchtung des Arbeitsplatzes ist somit wichtig und kann eine Augenermüdung verhindern.

## 7. Blendung

Es ist möglich, die verschiedenen Lichtquellen auf ihre Blendeffekte zu untersuchen. Sie sind abhängig von der Position, Helligkeit und Fläche der Lichtquelle.

### Entdeckung/mögliche Antwort:

Für das Experiment setzt man sich an den Schreibtisch und schaut auf ein Blatt Papier. Hinter dem Arbeitstisch hängen am Kleiderständer in ca. 1 m Höhe drei Glühlampentypen in unterschiedlichen Wattstärken (25W, 60W, 100W) um zu testen, wie stark sie blenden.

Wie erwartet stellt man fest, dass die klare Glühlampe am meisten blendet und die soft white Glühlampe ein angenehmes Licht abgibt. Ausserdem verursachen alle drei Glühlampentypen mit zunehmender Leuchtdichte eine stärkere Blendung.

Schlussfolgerung: Störende Lichtquellen sollten im Sichtfeld des Arbeitsplatzes vermieden werden, denn schon bei geringer Helligkeit können sie die Aufmerksamkeit senken.

## 8. Wohlbefinden

Durch eine Kombination von mehreren Lichtquellen, ggf. auch mit unterschiedlichen Farben, kann eine optimale oder angenehme Beleuchtungssituation geschaffen werden.

### Entdeckung/mögliche Antwort:

Folgende Lampen werden benutzt, um zu untersuchen, in welcher Kombination sie die angenehmste Stimmung erzeugen: die drei Glühlampentypen mit 60W und 100W, zwei Leuchtstofflampen 18W, die aufgeführten Halogen- und Energiesparlampen. Zusätzlich wurden die Positionen der Lampen variiert: senkrecht und schräg einfallendes Licht auf den Arbeitstisch, Lampenausrichtung an die Wand.

Die Kombination der Leuchtstofflampe 18W/830 (extra-warmweiss) mit der Glühlampe soft white, weiss und 60W erzeugt subjektiv die angenehmste Beleuchtung. Die Leuchtstofflampe hängt senkrecht zum Arbeitsplatz und die Glühlampe ist an die Wand gerichtet.

Wenn jeder die Möglichkeit hätte, seinen Arbeitsplatz individuell zu beleuchten, würden das Wohlbefinden und so sicher auch die Motivation steigen.

### **9. Farbiges Licht**

Die Farbwiedergabe einer Vorlage kann je nach Lichtquelle unterschiedlich sein.

#### Entdeckung/mögliche Antwort:

Gestetet wird, wie sich die Farben auf den verschiedenen Arbeitsblättern verändern, wenn man sie mit einer roten Glühlampe (100W) bestrahlt. Man stellt fest, dass das grüne Blatt rot erscheint, das blaue violett, das gelbe orange, das orange hellrot, das weisse rosa und das rote wurde intensivrot.

Wenn an einem Arbeitsplatz farbige Lampen installiert sind, kann das die Farbwahrnehmung stark verändern und so zu Fehlern führen. Beispielsweise können gelbe, orange und rote Knöpfe einer Kontrollkonsole unter Roteinfluss leicht verwechselt werden. An Arbeitsplätzen sollten farbige Lampen generell vermieden werden.

#### **Hinweis:**

Jede Aufgabenstellung beinhaltet ein breites Spektrum von Ergebnissen, da viele verschiedene Lichtquellen zur Verfügung stehen. Die mögliche Antwort soll zeigen, in welche Richtung gesucht werden kann.

### **C. Prüfung – Bewertung von Bericht, Dokumentation, Notizen**

Die Versuchsbeschreibung in der Prüfung (siehe Anhang V) muss folgende Kriterien erfüllen:

- Klare Formulierung
- Genaue Angabe der verwendeten Materialien z.B. Glühlampe klar, weiss, 60W; Leuchtstofflampe extra-warmweiss, 18W, etc.
- Der Versuch muss nachvollziehbar sein.

Das Ergebnis muss ebenfalls nachvollziehbar sein.

#### **Punkteverteilung:**

Für jedes der o.g. drei Kriterien der Versuchsbeschreibung gibt es 1 Punkt.

Für eine einleuchtende Ergebniserläuterung gibt es 2 Punkte.

Für „halbrichtige“ Antworten können 0.5 Punkte vergeben werden.

Insgesamt können maximal 10 Punkte erreicht werden. Dazu werden die Punkte beider Versuche addiert.

### **D. Literaturverzeichnis**

Helmut Krueger: Vorlesungsskript Arbeitsphysiologie; Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich, © Zürich, März 2004

Karl Frey, Angela Frey-Eiling: Manual zur Anwendung der Unterrichtsmethode Gelenktes Entdeckendes Lernen; Institut für Verhaltenswissenschaften der ETH Zürich, Januar 2004

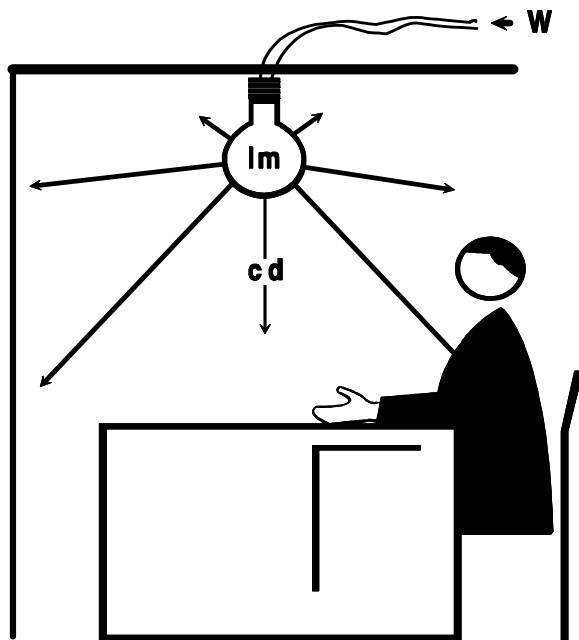
Karl Frey, Angela Frey-Eiling: Ordner Allgemeine Didaktik, 16. Auflage, 2003

Christoph Schierz: Einführung in die Ergonomie. Skript des Studienbereichs Industrial Design der Hochschule für Gestaltung und Kunst Zürich, 2004, S. 24-26

## Anhang I

Grösse	Definition	SI-Einheit
Lichtstrom $\Phi$	$\Phi = 683 \text{ lm/W} \cdot \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} V(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda$	Lumen (lm)
Leuchtdichte $L$	$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cos \varepsilon d\Omega}$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} = \text{cd/m}^2$
Beleuchtungsstärke $E$	$E = \frac{d\Phi}{dA} = \int_{(\Omega)} L \cdot \cos \varepsilon \cdot d\Omega$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2} = \text{Lux (lx)}$
spezifische Lichtausstrahlung $M$	$M = \frac{d\Phi}{dA} = \int_{(\Omega_1)} L \cdot \cos \varepsilon \cdot d\Omega_1$	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$
Lichtstärke $I$	$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \int_A L \cdot \cos \varepsilon \cdot dA$	$\text{lm} \cdot \text{sr}^{-1} = \text{Candela (cd)}$
Lichtmenge $Q$	$Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi dt$	$\text{lm} \cdot \text{h} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ lm} \cdot \text{s}$
Belichtung $H$	$H = \int_{t_1}^{t_2} E \cdot dt$	$\text{lm} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} = \text{lx} \cdot \text{s}$

T0324

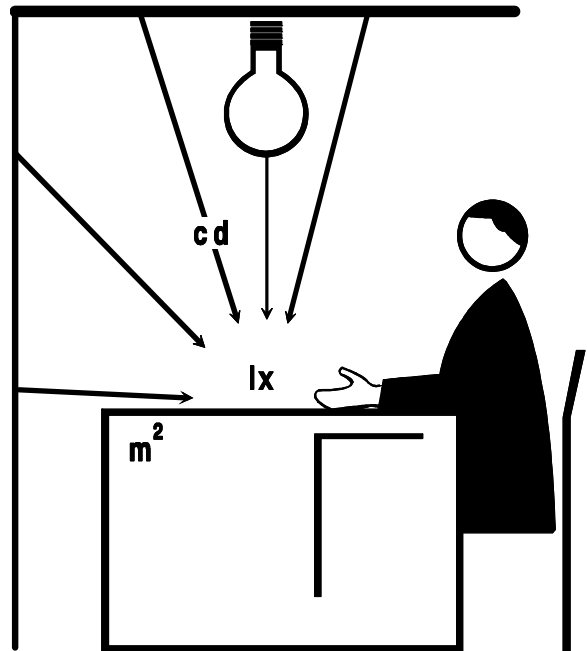


Seit Einführung der elektrischen Beleuchtung wird die Entwicklung der Lampen durch die stetige Vergrößerung ihrer *Lichtausbeute* bestimmt. Das heisst es soll mit möglichst wenig elektrischer Leistung ein möglichst grosser *Lichtstrom* (Masseinheit: Lumen = lm) erzielt werden. Bei Glühlampen beträgt die Lichtausbeute rund 14 lm/W, bei modernen, energiesparenden Leuchtstofflampen um 95 lm/W. Die gute Lichtausbeute bei Leuchtstofflampen wird durch Anpassen des *Lichtspektrums* an die Hellempfindlichkeit des Auges bewirkt. Das muss aber teilweise durch reduzierte *Farbwiedergabe*-Eigenschaften erkauft wer-

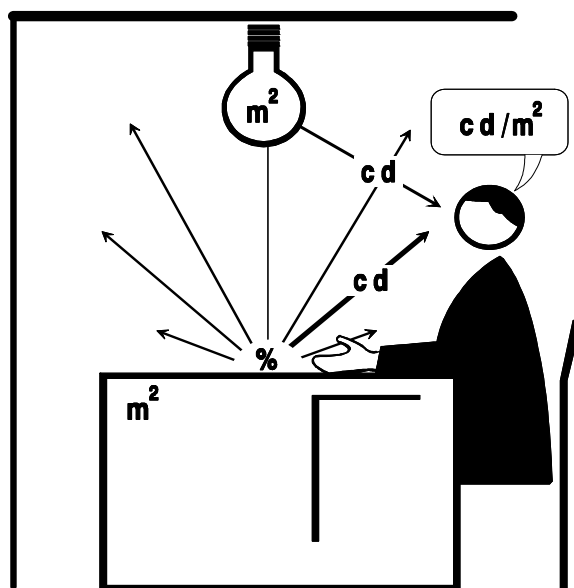
den. Der Lichtstrom von Leuchtstofflampen, welche an konventionellen Vorschaltgeräten betrieben werden, ist zeitlich nicht konstant: Es kann ein mehr oder weniger ausgeprägtes 100-Hz-*Flimmern* gemessen werden. Das Flimmern wird durch Verwendung elektronischer Vorschaltgeräte (EVG) verhindert. Der nutzbare Lichtstrom nimmt infolge *Verschmutzung* und *Alterung* der Beleuchtungsanlage mit zunehmender Betriebsdauer ab. Dem wird durch Wartung und rechtzeitigen Lampenersatz entgegengewirkt.

Das Licht eines Beleuchtungskörpers wird nicht in alle Raumrichtungen gleichmässig abgestrahlt. Die *Lichtstärke* (Masseinheit: Candela = cd) beschreibt, welcher Lichtstrom in eine bestimmte Richtung des Raumes gestrahlt wird (siehe Bild oben). Die Hersteller von Leuchten veranschaulichen diese Abstrahlcharakteristik durch Verteilungskurven, aus welchen ersichtlich ist, ob es sich um direkt, indirekt oder kombiniert strahlende Beleuchtungskörper handelt. Die Abstrahlcharakteristik bestimmt damit weitgehend sowohl die *Lichtverteilung* im Raum als auch die *Schattigkeit*. Der Lichttechniker kann mit Hilfe der Verteilungskurven bestimmen, an welchen Arbeitsplätzen es zu *Blendung* oder störenden *Spiegelungen* kommen kann.

Die *Beleuchtungsstärke* (Masseinheit: Lux = lx) beschreibt, welcher Lichtstrom auf einen Quadratmeter Fläche, zum Beispiel die Arbeitsfläche oder eine Wand fällt. Da die Beleuchtungsstärke mit einem *Luxmeter* einfach zu messen ist, findet man dazu für verschiedenste Sehaufgaben Empfehlungen. Dies obwohl eigentlich nicht von Interesse ist, wie viel Licht auf ein Arbeitsgut fällt, sondern vielmehr wie viel Licht vom Arbeitsgut ins Auge gelangt. Empfehlungen für Luxwerte sind daher nur nützlich, wenn zusätzlich auch Reflexionsgrade empfohlen und eingehalten werden. Ein minimaler Luxwert auf der Arbeitsfläche soll ein ermüdungsfreies Sehen bei der Arbeit ermöglichen. Er wird sowohl durch Detailgrösse und Kontrast der Sehaufgabe, als auch durch die Sehfähigkeit der Personen vorgegeben. Um individuelle Unterschiede der Sehfähigkeit bzw. unterschiedliche Tätigkeiten am Arbeitsplatz optimal zu unterstützen, ist eine in der Beleuchtungsstärke *regelbare Beleuchtung* zu bevorzugen.



Die Lichtstärke, die pro Quadratmeter Fläche ins Auge gelangt, heisst *Leuchtdichte* (Masseinheit:  $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Sie hängt stark von den Reflexions- bzw. bei Beleuchtungskörpern auch von den Transmissionseigenschaften des betrachteten Flächenelements ab. Die Leuchtdichte bedingt direkt die subjektiv empfundene Helligkeit einer Fläche; eine optimale *Leuchtdichteverteilung* im Raum ist daher eine wesentliche Voraussetzung für ein gutes "visuelles Raumklima". Heutzutage lässt sich die Leuchtdichte mit einem *Photometer* ebenfalls auf einfache Art erfassen. Da mit diesem Gerät auch Blendquellen, *Kontraste* und durch Spiegelung verursachte *Kontrastminderung* quantitativ bestimmt werden können, bieten Leuchtdichtemessungen eine wertvolle Ergänzung im Instrumentarium der Arbeitsmedizin.



Schierz (2004)

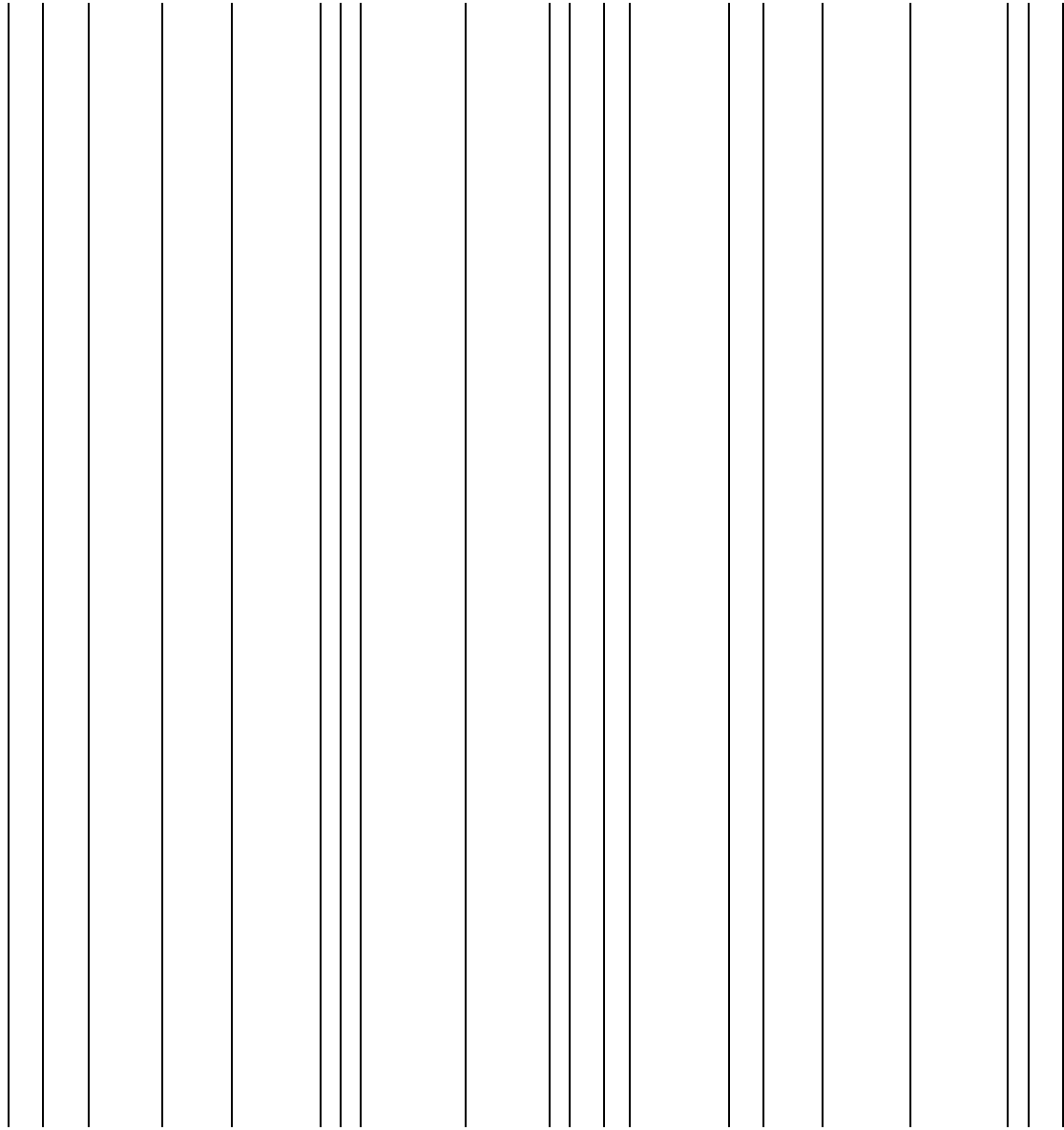
Für die Messung der Beleuchtungsstärke, also der Lichtmenge, die auf ein Objekt fällt, wird das Luxmeter benutzt. Es besteht aus einem Messkopf und der Elektronik.

Ein Photometer misst die Leuchtdichte, also die Lichtmenge, die auf die Stelle des schärfsten Sehens (Fovea) der Netzhaut fällt. Es entspricht einer Kamera mit Sucher. Statt des Films wird eine Photozelle benutzt. Wichtig ist, dass die richtige Entfernung eingestellt wird.

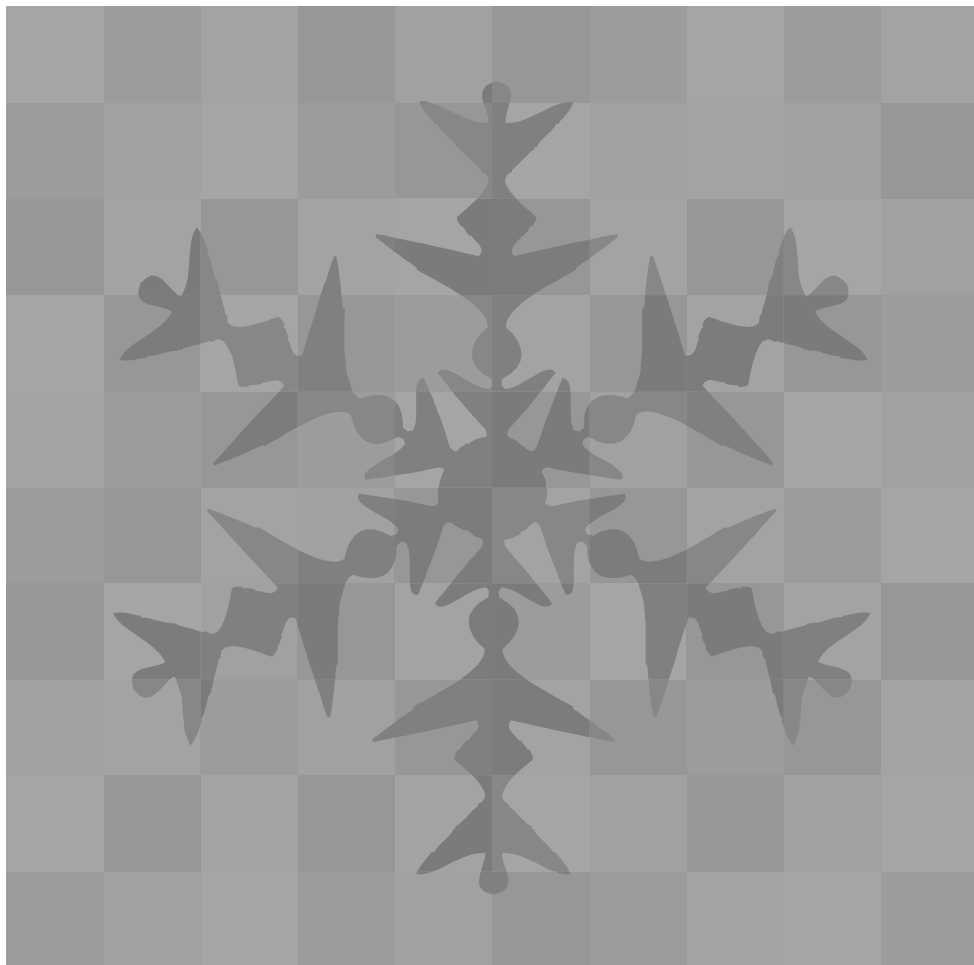


Für die Messung der Beleuchtungsstärke, also die Lichtmenge, die auf ein Objekt fällt, wird das Luxmeter benutzt. Es besteht aus einem Messkopf und der Elektronik

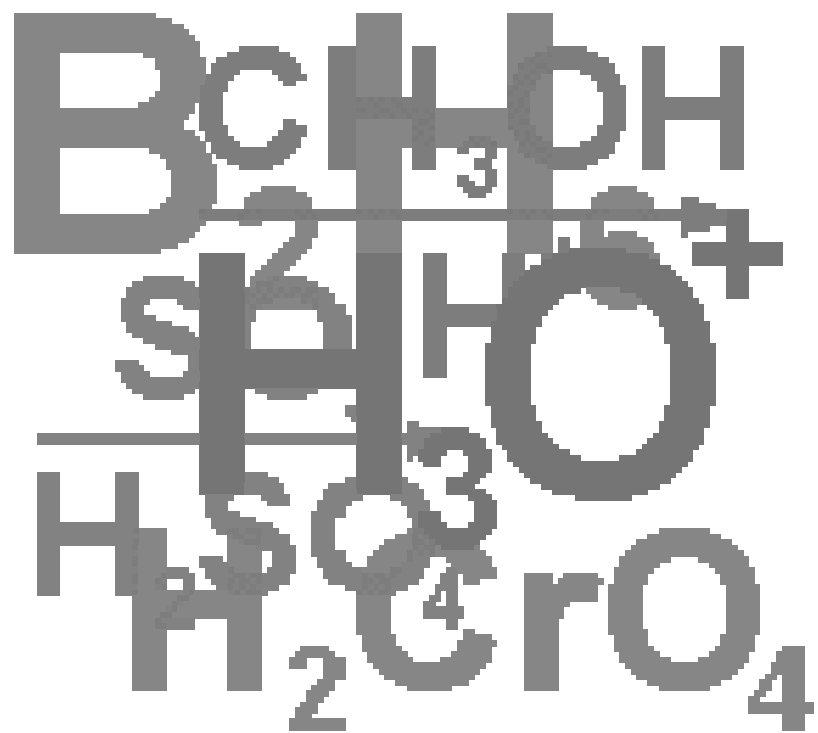
Das Photometer misst die Leuchtdichte, die Menge Licht, die auf die Stelle des schärfsten Sehens (Fovea) der Netzhaut fällt. Es entspricht einer Kamera mit Sucher. Statt des Films wird eine Photozelle benutzt. Wichtig ist, dass die richtige Entfernung eingestellt wird.



Anhang III













## Anhang IV

### **Lampeninventarliste:**

#### **Glühlampen (7W, 25W, 40W, 60W, 75W, 100W)**

Diese drei Glühlampentypen gibt es in den oben aufgeführten Wattstärken.

OSRAM: CLAS A klar  
Gewinde E27

OSRAM: CLAS A matt  
Gewinde E27

OSRAM: CLAS A soft white  
Gewinde E27

Folgende Farben stehen zur Verfügung: Gelb, Rot, Blau und Grün

#### **Leuchtstofflampen (18W, 30W, 36W)**

Die aufgeführten Wattstärken gibt es in zwei Ausführungen.

PHILIPS: 830 (extra-warmweiss)  
865 (tageslichtweiss)

oder die Energiegünstigeren und bezüglich Farbwiedergabe besseren

PHILIPS: 827 (extra-warmweiss)  
860 (tageslichtweiss)

#### **Halogenlampen (50W, 75W)**

OSRAM: HALOPAR 20; 50W  
E27; Winkel von 35°

PHILIPS: PAR30S Halogen A; 75W  
E27; Winkel von 30°

#### **Energiesparlampen (5W, 10W)**

OSRAM: DULUX EL LONGLIFE  
5W, Gewinde E27

SWISS LIGHTS: Globe M  
10W, Gewinde E27

## **Prüfung zum Thema „Licht am Arbeitsplatz“**

### **Prüfungsaufgabe:**

Beschreibt auf einem separaten Blatt zwei Versuche und erläutert das Ergebnis.  
Leere Blätter werden ausgeteilt.

### **Erwartung:**

Beschreibt die zwei Versuche so genau, dass ein Kollege oder eine Kollegin diese Versuche anhand der Beschreibung durchführen kann. Verwendet zur genauen Angabe der Materialien die Bezeichnungen von der Lampeninventarliste (z.B. Glühlampe matt, blau und 75W).  
Das „Ergebnis erläutern“ heisst, sich Gedanken darüber machen, was ihr entdeckt habt.

Wenn ihr eine Zeichnung des Versuchsaufbaus anfertigen möchtet, ist das für das Nachvollziehen des Versuchs hilfreich. Es gibt aber keine Zusatzpunkte.

### **Bewertung:**

Für eine klar formulierte, nachvollziehbare Versuchsbeschreibung mit Angaben der Materialien erhaltet ihr drei Punkte. Eine einleuchtende Ergebniserläuterung gibt zwei Punkte.  
Somit könnt ihr pro Versuch fünf Punkte erreichen.