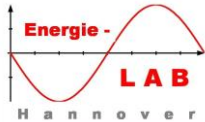


Landeshauptstadt
Hannover



 Schulbiologiezentrum



Energie-LAB der IGS Mühlenberg



19.85

Experimentierset
"Leuchtmittelvergleich"
"Deutschland sucht das Superlicht"

Oktober 2015

Der „Leuchtmittelvergleich“ wurde gefördert durch



Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover/
Energie-LAB der IGS Mühlenberg

Titel: **Arbeitshilfe 19.85**
Leuchtmittelvergleich
"Deutschland sucht das Superlicht"
Experimente mit Glühlampen, Halogenleuchten,
Kompaktleuchtstoffröhren und LED-Leuchten

Verfasser: Ingo Mennerich

Abbildungen: Autor (soweit nicht anders gekennzeichnet)

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info



2006 - 2007
2010 - 2011

Energie-LAB der IGS Mühlenberg
Mühlenberger Markt 1
30419 Hannover
Tel: 0511/168-49508
Fax: 0511/168-49518
E-Mail: info@energie-lab.de
Internet: www.energie-lab.de

Inhalt

Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Gefahrenhinweis

Hinweis zum Stromverbrauch

Das LMV-Experimentiererset: "Energiefresser" und "Energiesparer"

Das LMV begleitende Messgeräte

LMV Abschnitt 1 (technische Übersicht)

LMV Abschnitt 2 (technische Übersicht)

DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht"

Erste Runde: Ein ganz subjektives "Ranking"

Welche Leuchte erzeugt das hellste Licht?

Welche Leuchte erzeugt das angenehmste Licht?

Welche Leuchte erzeugt die geringste Wärme?

Bewertungsmodus: Welche Lampe liefert das beste Licht bei geringstem Energieeinsatz?

[ARBEITSBLATT](#) DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht", erste Runde

DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht" , zweite Runde:

Ein "Ranking" nach objektiveren Messwerten (Helligkeit / Stromverbrauch)

Helligkeitsmessung mit dem Luxmeter

Erste Messung der elektrischen Leistung mit dem eingebauten Digital-Display

[ARBEITSBLATT](#) DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht", zweite Runde

Helligkeit: Wie kann man die Leuchten miteinander vergleichen?

Was ist ein Lux? Was misst ein Luxmeter?

Die Einheiten Lux, Lumen und Candela

Beispiel Kerze: Wie hängen die drei Einheiten zusammen?

Lux in Lumen und Candela verwandeln

Candela in Lumen verwandeln

Öffnungswinkel: Lichtstrom und Lichtstärke von Strahlern bestimmen

[ARBEITSBLATT](#) Wie viele Kerzen braucht man, wenn der Strom ausfällt?

[ARBEITSBLATT](#) Beleuchtungsstärke und Abstand zur Lichtquelle

[ARBEITSBLATT](#) Wie viel Licht erzeugt eine Glühlampe? (1)

[ARBEITSBLATT](#) Wie viel Licht erzeugt eine Glühlampe? (2)

[ARBEITSBLATT](#) Welche Leuchte gibt das meiste Licht ab?

[ARBEITSBLATT](#) Untersuche das "Strahlungsprofil" der Leuchten

[ARBEITSBLATT](#) Öffnungswinkel ("Strahlungsprofil") und Lichtstrom

[ARBEITSBLATT](#) Beleuchtungsstärke, Distanz, Öffnungswinkel, Lichtstärke und Lichtstrom

Spektrale Verteilung des Lichts

Untersuchung der Lichtqualität und des Farbtons mit dem Handspektroskop

[ARBEITSBLATT](#) Betrachte eine dieser Leuchten mit dem Spektroskop!

[ARBEITSBLATT](#) Spektrum und Intensitätsverteilung der Leuchten

Die Farbtemperatur: "Kaltes" und "warmes Licht"

[ARBEITSBLATT](#) Temperatur des Strahlers, Spektrum und Intensitätsverteilung

[ARBEITSBLATT](#) Spektrum einer Glühlampe mit einem Dimmer (1)

[ARBEITSBLATT](#) Eine Leuchtstoffröhre mit "warmem" und "kaltem" Licht

Stromverbrauch (Leistung) und Betriebskosten:

Gleiches Licht für viel oder wenig Geld?

[ARBEITSBLATT](#) Viel Licht für wenig Geld?

[ARBEITSBLATT](#) Wie viele "Candela" erhalte ich pro Watt?

[ARBEITSBLATT](#) Welche Leuchte passt in welche Effizienzklasse?

[ARBEITSBLATT](#) Wann kostet Licht pro Leuchte und Jahr?

Wirk-, Schein- und Blindleistung

Stimmt der Energieverbrauch mit den aufgedruckten Werten überein?

Was heißt "Leistung" und was Wirk-, Schein- und Blindleistung?

Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung im Leistungsdreieck

Leistungsmessung mit dem Display

Typische im LMV gemessene Werte

[ARBEITSBLATT](#) Wie viel Strom brauchen Leuchten wirklich? (1)

Ranking nach Verhältnis Wirk- und Blindleistung

[ARBEITSBLATT](#) Wie viel Strom brauchen Leuchten wirklich? (2)

Ranking nach Verhältnis Wirk- und Blindleistung

[ARBEITSBLATT](#) Wie viel Strom müssen wir für eine Leuchte erzeugen?

Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Schon in der frühesten Menschheitsgeschichte war das Feuer ein Weg, das Tageslicht in die dunkle und kalte Nacht zu bringen. Aus dem mit viel Mühe entzündeten, am Leben gehaltenen und von Ort zu Ort gebrachten Feuer wurden später mit Ölen, Fetten oder Wachs betriebene, mit Dochten versehene Kerzen und Lampen. Schon früh machte erkannte man, dass das Feuer etwas sehr Zentrales, Überlebenswichtiges war und damals daher wertvoller als manche heutigen, nicht wirklich essentiell zum Leben nötigen Werte.

Auf die heutigen "Nachgeborenen" übt das Feuer eine große Faszination aus. Alte Techniken des Feuermachens stehen hoch im Kurs: Wer es heute versteht, aus selbst gesammelten Naturmaterialien Feuer zu schlagen gilt fast als ein "Heiliger". Die im Schulbiologiezentrum Hannover ausleihbare "Feuerkiste" erfreut sich großer Beliebtheit, lässt sie Schüler doch erfahren wie schwer es ist, ein Feuer zu entzünden wenn man nicht anderes um sich herum hat als die "nackte" Natur.

Die moderne Gesellschaft hat die Nacht nahezu vertrieben. Kaum jemand hat jemals wirkliche Dunkelheit erlebt und der Zauber eines sternensäten Nachthimmels bleibt den meisten lebenslang vorenthalten.

Längst sind wir aus der Zeit der Kerzen und Öllampen herausgewachsen, nutzen sie nur noch für romantische Momente oder halten sie für unvorhergesehene Stromausfälle bereit.

Elektrischer Strom ist die Triebfeder moderner Gesellschaften. Sein Verbrauch auch ein Zeichen globaler Disparitäten und Segregation. Elektrisches Licht lässt sich am besten aus dem All betrachten, wo Europa, Nordamerika, China und andere Regionen in einer nächtlichen Lichterflut ertrinken zu scheinen wogegen weite Areale Afrikas in komplette Dunkelheit gehüllt sind.

Die gleißend hellen modernen Gesellschaften sind zugleich Gesellschaften der Unwissenheit: Kaum jemand kann - kulturunabhängig - einschätzen, wie viel Strom er verbraucht und ob er in der Lage wäre, selbst durch eigene Muskelkraft dafür zu sorgen, dass es nachts so hell bleibt wie wir es gewohnt sind.

Ressourcen sind - soweit sie nicht ersetzt werden können - endlich und unabhängig davon ob man die Szenarien des "Klimawandel" annimmt oder nicht. sollte man sie überlegt und sparsam nutzen. Wir haben keine zweite Erde als Reserve.

Licht ist macht nur einen kleinen Teil unseres Gesamtenergieverbrauchs aus. "Energiesparlampen" und Glühlampenverbote sollten uns nicht davon ablenken, dass wir, um nachhaltig zu leben, noch viel größere Einsparungspotentiale ins Auge fassen müssen. Vielleicht ist das Licht ein guter Anfang....

Energiesparleuchten sind nicht unumstritten. Kritik kommt sowohl von Medizinern (Elektrosmog, Giftbelastung) als auch von Elektrikern die hervorheben, dass die Einsparungen auf der Erzeugerseite erheblich geringer ausfallen (Produktion, Blindleistung) als es die sinkenden Stromkosten beim Verbraucher suggerieren. Demnach stünde auch das Potenzial einer CO₂-Minderung in Frage.

Energiepolitische Entscheidungen sollten von Fachverstand und nicht von Moden getragen sein.

Eine "Energiewende" ist ein Projekt, für das früh kluge Weichen gestellt werden müssen und deren "Ernte" erst in vielen Jahren sichtbar werden wird. In partizipativen demokratischen Gesellschaften braucht es dazu mitdenkende Köpfe die wissen wovon sie reden. Dazu kann und muss Schule beitragen.

Nachhaltigkeit bedeutet aber nicht nur Energieeinsparung. Es geht auch darum, zukünftige Generationen zu motivieren, intelligente Techniken zu entwickeln die Energieeinsparung möglich machen. Die naheliegende Strategie das Licht einfach auszuschalten entfaltet offenbar nicht die von Idealisten gewünschte Breitenwirkung. Kaufentscheidungen im Sinne einer nachhaltigen Lebensweise können nur vor dem Hintergrund vollzogen werden, dass es etwas Nachhaltiges zum Kaufen gibt, es sei denn "Nachhaltigkeit" erschöpft sich im Verzicht.

Bleibt also, den nächsten Generationen das Wissen zu vermitteln wie Strom entsteht und wie aus Strom Licht wird. Energieeinsparung ist eine Aufgabe die die "Wissenden" von Morgen lösen müssen. Ohne sie wird Zukunft nicht funktionieren.

Gefahrenhinweis

Das Experimentierset besteht aus handelsüblichen Leuchtmitteln mit 230V bzw. 12 V Spannung. Die Lampen dürfen daher nicht herausgedreht werden!

Sollte Ersatz notwendig sein wenden Sie sich bitte umgehend an das Schul-LAB.

Vor dem Entfernen der Leuchten müssen alle Netzstecker gezogen und alle Schalter auf "Aus" gestellt werden!

Hinweis zum Stromverbrauch:

Teil 2 des LMV enthält einen Transformator zur Versorgung der beiden 12V-Leuchten. Nach Betätigung des Hauptschalters (Teil 1) verbraucht Teil 2, konstruktiv bedingt, auch bei ausgeschalteten Lampen etwa 1,5 W (Wirk)Leistung.

Der Wirkfaktor $\cos \Phi$ des Netzteils beträgt (laut Display) 0,17 entsprechend einer Blindleistung von 8,2 VAR.

Dieser "Standby"-Verbrauch entspricht der Situation die bei einer Vielfalt von Haushaltsgeräten auftritt. Es wird Leistung verbraucht (und bezahlt) nur um das Gerät in Bereitschaft zu halten. Die bei niedrigem $\cos \phi$ hohe Blindleistung weist auf eine weitere Problematik hin: Spannung und Strom werden nicht immer in Leistung umgesetzt.

Bei Teil 1 fließt bei ausgeschalteten Leuchten kein Strom.

Das LMV-Experimentiererset: "Energiefresser" und "Energiesparer"

Das Experimentiererset besteht aus zwei voneinander getrennten Teilen:

Einer Reihe "großer" 230 Volt-Leuchten mit E27- Gewinde und einer Reihe "kleiner" 12 und 230 Volt-Leuchten mit GU-Kontaktstiften bzw. E14-Gewinde.

Teil 1 (Leuchten 1 - 3) kann auch isoliert benutzt werden.

Teil 2 wird durch ein zusätzliches 230V Netzkabel angeschlossen.

Für eine erste "Kontaktaufnahme" mit dem LMV-Set bietet sich an, zunächst nur den Teil mit den großen Leuchten zu benutzen.

Jede Leuchte ist einzeln schaltbar, die große Glühlampe ist zusätzlich mit einem Dimmer versehen. Die Helligkeit von Energiesparlampen und LED-Leuchten lassen sich mit herkömmlichen Dimmern nicht regulieren.





Foto: Ingo Mennerich

Das LMV begleitende Messgeräte:

- Anzeige (integriert): W, VA, VAr, $\cos \phi$, V, A, Hz, Wh, h (rec), h (on)
- Luxmeter
- Infrarot-Thermometer
- Spektroskop

LMV Abschnitt 1 (technische Übersicht)







Teil 1 enthält eine Glühlampe, eine Energiesparleuchte und eine LED-Leuchte, zusätzlich ein Messgerät, das den "Stromverbrauch", also die aktuelle Leistung in Watt anzeigt.

1 	Glühlampe Klar	2 	Kompaktleuchtstoffröhre Mit Schutzabdeckung aus Kunststoff
	Spannung: 230 V		Spannung: 230 V
	Leistung: 40 W		Leistung: 9 W
	Kontakt: Schraubfassung E27		Kontakt: Schraubfassung E27

3 	LED-Leuchte Mit Schutzabdeckung aus Kunststoff
	Transformator und Gleichrichter im Fuß
	Spannung: 230 V
	Leistung: 9 W
Kontakt: Schraubfassung E27	

LMV Abschnitt 2 (technische Übersicht)

Teil 2 enthält zwei Kerzenleuchten (Halogen bzw. LED), zwei Hochvolt-Strahler (Halogen bzw. LED) und zwei Niedervolt-Strahler (Halogen bzw. LED)

<p>4</p> 	<p>Halogen-Kerzenleuchte</p> <p>Mit Schutzabdeckung aus Glas</p> <p>Spannung: 230 V</p> <p>Leistung: 18 W</p> <p>Kontakt: Schraubfassung E14</p>	<p>5</p> 	<p>LED-Kerzenleuchte</p> <p>Mit Schutzabdeckung aus Glas</p> <p>Spannung: 230 V</p> <p>Leistung: 5 W</p> <p>Kontakt: Schraubfassung E14</p>
<p>6</p> 	<p>Halogen-Strahler</p> <p>Spannung: 230 V</p> <p>Leistung: 35 W</p> <p>Kontakt: GU10 Keramiksockel, zum Drehen</p>	<p>7</p> 	<p>LED-Strahler</p> <p>Spannung: 230 V</p> <p>Leistung: 5,5 W</p> <p>Kontakt: GU10 Keramiksockel, zum Drehen</p>
<p>8</p> 	<p>Halogen-Strahler</p> <p>Spannung: 12 V</p> <p>Leistung: 50 W</p> <p>Kontakt: GU 5,3 Stiftsockel, zum Stecken</p>	<p>9</p> 	<p>LED-Strahler</p> <p>Spannung: 12 V</p> <p>Leistung: 6,5 W</p> <p>Kontakt: GU 5,3 Stiftsockel, zum Stecken</p>

Die Nummern sind so vergeben, dass sie im "aufgeklappten" Zustand des LMV-Experimentiersets fortlaufend von links nach rechts gelesen werden können.

DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht"

Erste Runde: Ein ganz subjektives "Ranking"

Welche Leuchte erzeugt das hellste Licht?

Dieses erste, ohne Messgerät durchgeführte "Ranking" darf ganz subjektiv sein: Jede der neun Leuchten wird mit Punkten zwischen 1 (größte) und 9 (geringste Helligkeit) bewertet, wobei jeder Punkt nur einmal vergeben werden darf.

Natürlich lässt sich die Helligkeit auch objektiv messen. Der Kunde, der sich für eine Leuchte entscheidet wird aber zunächst nach seinem persönlichen Empfinden entscheiden. Und das kann von Person zu Person ganz verschieden ausfallen. Natürlich spielt auch die Form der Leuchte eine Rolle. Ein Strahler wirft das Licht in eine bestimmte Richtung, ganz anders als eine rund herum leuchtende "Glühbirne".

Welche Leuchte erzeugt das angenehmste Licht?

Auch diese "Hitparade" ist vom persönlichen Geschmack abhängig und folgt dem Schema nachdem die Helligkeit beurteilt wurde: 1 (beste) und 9 (schlechteste Lichtqualität).

"Angenehm" kann sich auf die Lichtfarbe ("warm"/"kalt") beziehen oder auf die Helligkeit die wiederum davon abhängig sein kann ob das Licht punktförmig oder flächig erscheint. Punktförmige Lichtquellen werden meist als heller empfunden als Leuchten bei denen die gleiche Helligkeit über eine größere Fläche abgestrahlt wird.

Auch diese Bewertung darf sich ganz am persönlichen Geschmack orientieren und wird möglicherweise eine heftige aber hoffentlich fruchtbare Diskussion auslösen...

Die Verteilung des Lichtes im Raum und die "Lichtfarbe" lassen sich objektiv bestimmen. Das ist in einer ersten Beurteilung aber noch nicht wichtig.

Für die Form gilt das unter "Helligkeit" gesagte.

Welche Leuchte erzeugt die geringste Wärme?

Die von einer Leuchte abgegebene Wärme ist ein indirektes aber recht verlässliches Maß für ihren Stromverbrauch. Glühlampen verwandeln die elektrische Energie vor allem in Wärme. Licht macht nur wenige Prozent aus. Leuchtstoffröhren und LED-Leuchten haben einen besseren Wirkungsgrad. Die an der Oberfläche der Leuchte gefühlte Wärme kann also ein erstes - noch subjektives - Indiz für den Stromverbrauch sein.

Auch hier werden "Zensuren" zwischen 1 (geringste) und 9 (höchste Wärmeabgabe) vergeben.

Bewertungsmodus:**Welche Lampe liefert das beste Licht bei geringstem Energieeinsatz?**

Die drei Punktwertungen werden addiert, durch drei geteilt und die Lampe mit dem "besten" Licht zum **Sieger** erklärt.




	H	Q	W Wärmeabgabe	
1	Größte Helligkeit	Beste Lichtqualität	Geringste Wärmeabgabe	"Testsieger" ist die Leuchte mit der besten Gesamtzensur: $(H + Q + W) / 3$
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	Geringste Helligkeit	Schlechteste Lichtqualität	Höchste Wärmeabgabe	

ARBEITSBLATT







DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht" Erste Runde

- Erstelle eine "Hitparade" nach Helligkeit (H 1 - 9)
- Erstelle eine "Hitparade" nach Lichtqualität (L 1 - 9)
- Erstelle eine "Hitparade" nach der Wärmeentwicklung (W 1 - 9)
- Gib jeder Leuchte eine "Zensur": Summe (H + Q + W) geteilt durch 3
- Ermittle die Testsieger (Gold, Silber, Bronze)

Leuchten 1 - 3

Leuchte	#	H Helligkeit (1 - 9)	Q Lichtqualität (1 - 9)	W Wärmeentwicklung (1 - 9)	"Gesamtnote" (H + Q + W) / 3	Platz
	1	H: ____	Q: ____	W: ____		
	2	H: ____	Q: ____	W: ____		
	3	H: ____	Q: ____	W: ____		

Leuchten 4 - 9

Leuchte	#	H	Q	W	"Gesamtnote"	Platz
	4	H: ____	Q: ____	W: ____		
	5	H: ____	Q: ____	W: ____		
	6	H: ____	Q: ____	W: ____		
	7	H: ____	Q: ____	W: ____		
	8	H: ____	Q: ____	W: ____		
	9	H: ____	Q: ____	W: ____		

And the winner is...

Gold: _____

Silber: _____

Bronze: _____

Es gibt natürlich noch andere, hier nicht in die Bewertung einfließende Gründe, sich für eine bestimmte Lampe zu entscheiden, z.B.

- den Verwendungszweck (Rundumbeleuchtung / Strahler? Arbeits- oder "gemütliches" Licht?)
- den Anschaffungspreis (Kosten/Nutzen?)
- Ästhetik ("passt die Leuchte in ihre Umgebung und zu mir?)
- Vom Hersteller versprochene bzw. zu erwartende Nutzungsdauer
- Persönliche Vorlieben

DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht"

Zweite Runde: Ein "Ranking" nach objektiveren Messwerten (Helligkeit / Stromverbrauch)

Helligkeitsmessung mit dem Luxmeter

Das dem Set beiliegende Luxmeter ist ein hochwertiges Messgerät (TESTO 540). Es misst die Lichtstärke wahlweise (Mode-Schalter) in Lux (lx) bzw. Footcandle (fc). Footcandle ist eine in den USA übliche Einheit die nicht auf dem SI-Einheitensystem beruht und nur schwer in andere Einheiten konvertierbar sind (1000 Lux entsprechen 92,9 fc)

Unsere Messungen sollten daher ausschließlich in Lux durchgeführt werden. Die Definition der Einheit Lux kann für erste Zwecke darauf verkürzt werden, dass 1 Lux etwa der Beleuchtungsstärke einer Kerze im Abstand von einem Meter entspricht.

Einige Referenzwerte (Wikipedia):

Heller Sonnentag	100.000 lx
Bedeckter Sommertag	20.000 lx
Im Schatten im Sommer	10.000 lx
Operationssaal	10.000 lx
Bedeckter Wintertag	3.500 lx
Fußballstadion	1.400 lx
Beleuchtung TV-Studio	1.000 lx
Büro-/Zimmerbeleuchtung	500 lx
Flurbeleuchtung	100 lx
Straßenbeleuchtung	10 lx
Kerze ca. 1 Meter entfernt	1 lx
Vollmondnacht	0,25 lx
Sternklarer Nachthimmel (Neumond)	0,001 lx
Bewölkter Nachthimmel ohne Mond und Fremdlichter	0,00013 lx



Das kompakte Handgerät verfügt über einen an die spektrale Empfindlichkeit des Auges angepassten Lichtsensor. Beim "Ranking" nach der Helligkeit sollten daher die subjektive Einschätzung und der gemessene Wert in gute Übereinstimmung zu bringen sein.

Das Gerät verfügt über ein digitales Display und einen Messbereich von 0 - 100000 Lux.

Die Auflösung beträgt 1 Lux (0 - 19999 Lux, sonst 10 Lux) bei einer Genauigkeit von ± 3 Lux.

Die Hold-Funktion ermöglicht ein bequemes Ablesen auch nach Ausschalten der Lichtquelle. Minimum- und Maximum-Werte sind auf Tastendruck aufrufbar.

Die **Bewertung** beim "Ranking" erfolgt wiederum in Stufen von 1 (höchste) - 9 (geringste Beleuchtungsstärke. Zusätzlich wird der vom Luxmeter abgelesene Wert (lx) notiert.

Die Leuchten weisen unterschiedliche Strahlungscharakteristika auf. Eine klassische Glühlampe strahlt das Licht in nahezu alle Richtungen am ein Strahler dagegen hat nur eine das Licht auf einem Raumabschnitt konzentrierende Öffnungsweite.

Daher wird zum Messen ein passendes, innen durch Spiegelfolie ausgekleidetes HAT-Rohr auf die Leuchte gesetzt und ein Graufilter in Form eines Papierstreifens aufgesetzt. Der Sensor sollte unmittelbar über das Filter gehalten werden.

Da einige der Leuchten sehr heiß werden (Hitzestau!) muss die Messung zügig durchgeführt werden.

Erste Messung der elektrischen Leistung mit dem eingebauten Digital-Display



Seitlich am LMV-Modul befindet sich ein digitales Messgerät das den aktuellen "Verbrauch" und viele andere Werte anzeigt.

Das Display zeigt beim Einschalten des Geräts drei Zeilen (W, VA, VAR).

Es reicht zunächst aus, sich nur die **oberste Zeile (Leistung in Watt)** anzusehen.

VA ist die Schein-, VAR die Blindleistung. Dazu an späterer Stelle mehr.

Auch hier wird eine Zensur (1 - 9) vergeben werden wobei die sparsamste eine "Eins" bekommt.




Für die Gesamtnote werden die Bewertungen Helligkeit H und Leistung L addiert und die Summe durch zwei geteilt.

ARBEITSBLATT

DSDS: "Deutschland sucht das Superlicht" Zweite Runde

- Erstelle eine "Hitparade" nach Helligkeit (H 1 - 9)
- Erstelle eine "Hitparade" nach der Leistung (L 1 - 9)
- Gib jeder Leuchte eine "Zensur": Summe (H + L) geteilt durch 2
- Ermittle die Testsieger (Gold, Silber, Bronze)







Leuchten 1 - 3

Leuchte	#	H Helligkeit (1 - 9)	L Leistung (1 - 9)	"Gesamtnote" $(H + L) / 2$	Platz
	1	___ lx H : ___	___ W L : ___		
	2	___ lx H : ___	___ W L : ___		
	3	___ lx H : ___	___ W L : ___		

Achtung:

Stimmen die Leistungsangaben auf der Leuchte mit der gemessenen Leistung überein?

Leuchten 4 - 9

Leuchte	#	H	L	"Gesamtnote"	Platz
	4	___ lx H: ___	___ W L: ___		
	5	___ lx H: ___	___ W L: ___		
	6	___ lx H: ___	___ W L: ___		
	7	___ lx H: ___	___ W L: ___		
	8	___ lx H: ___	___ W L: ___		
	9	___ lx H: ___	___ W L: ___		

And the winner is...

Gold: _____

Silber: _____




Bronze: _____

Messwerte

H1: Messung mit auf HAT-Rohr (20 cm Länge, innen verspiegelt)

H2: Messung in 1 m Distanz über der Leuchte (Stativaufhängung)

Leuchten 1 - 3

Leuchte	#	H1* Helligkeit	H2* Helligkeit	L Leistung	Quotient H1/L	Quotient H2/L	Quotient H1/H2
	1	35300 lx	50 lx	38,9W	907,5	1,29	706
	2	39000 lx	45 lx	9,8W	3980,0	4,59	867
	3	45600 lx	99 lx	10,3W	4427,2	9,61	461

Leuchten 4 - 9

Leuchte	#	H1	H2*	L	Quotient H1/L	Quotient H2/L	Quotient H1/H2
	4	21600 lx	38 lx	30,6 W	705,9	1,24	568
	5	34700 lx	17 lx	5,6 W	6196,4	3,04	2041
	6	65400 lx	569 lx	35,6 W	1837,1	15,98	115
	7	76700 lx	976 lx	7,4 W	10364,9	131,9	78
	8	104000 lx	760 lx	33,0 W	3151,5	23,03	136
	9	70600 lx	1077 lx	7,9 W	8936,7	136,33	66

Helligkeit: Wie kann man die Leuchten miteinander vergleichen?

Beim "Ranking" der Leuchten ("Deutschland sucht das Superlicht") wurde die Helligkeit (genauer: Beleuchtungsstärke) nur subjektiv (nach Augenschein) verglichen. In der zweiten Runde erfolgte die Messung mit einem Luxmeter.

Was ist ein Lux? Was misst ein Luxmeter?

Man hört manchmal Aussagen wie "Die Leuchte hat 1000 Lux..."

Wer mit einem Luxmeter versucht das zu überprüfen, wird schnell feststellen, dass der im Display erscheinende Lux-Wert mit der Entfernung zur Leuchte sinkt.

Der Messwert enthält nämlich zwei Informationen: Die Lichtstärke der Leuchte und die Distanz des Luxmeters zur Leuchte.

"Die Beleuchtungsstärke in lx ist der Quotient der Lichtstärke einer punktförmigen Lichtquelle in cd und dem Quadrat der Entfernung in m." (Wikipedia, "Lux")

Hier gibt es - natürlich - eine physikalisch-mathematische Beziehung die sich aber nicht jedem sofort erschließt.

Wichtig ist zu wissen: Der Messwert des Luxmeters gibt die **Beleuchtungsstärke** in Abhängigkeit zur Distanz des Messgerätes an. Er ist **kein** Maß für die **Lichtstärke** der Leuchte! Dafür müsste man das Luxmeter ins Zentrum der Lichtquelle halten.

Ein - relativer - Vergleich der Lichtstärken ist nur möglich, wenn die Distanz Lichtquelle - Luxmeter stets gleich ist. Das haben wir in der zweiten Runde des Rankings mit einem Messaufsatz (HAT-Rohr) versucht zu erreichen.

Die Einheiten Lux, Lumen und Candela

In der Lichttechnik gibt es drei Maßeinheiten: **Lux**, **Lumen** und **Candela**. Alle drei sind mathematisch miteinander verknüpft. Wer ein Luxmeter benutzt und wissen will, wie "stark" eine Lichtquelle ist muss rechnen. Zuvor muss er aber verstanden haben, wie die drei Einheiten zusammenhängen.

Lux:	Beleuchtungsstärke
Lumen:	Lichtstrom
Candela:	Lichtstärke

Eine vereinfachte Definition:

- Die **Beleuchtungsstärke** 1 Lux sagt, dass der **Lichtstrom** in 1 Meter Distanz zur Lichtquelle 1 Lumen pro Quadratmeter beträgt.
- Die **Beleuchtungsstärke** 1 Lux, gemessen in 1m Entfernung, sagt, dass die **Lichtstärke** der Lichtquelle 1 cd beträgt.

1 Candela ist die Lichtstärke etwa einer Haushaltskerze.

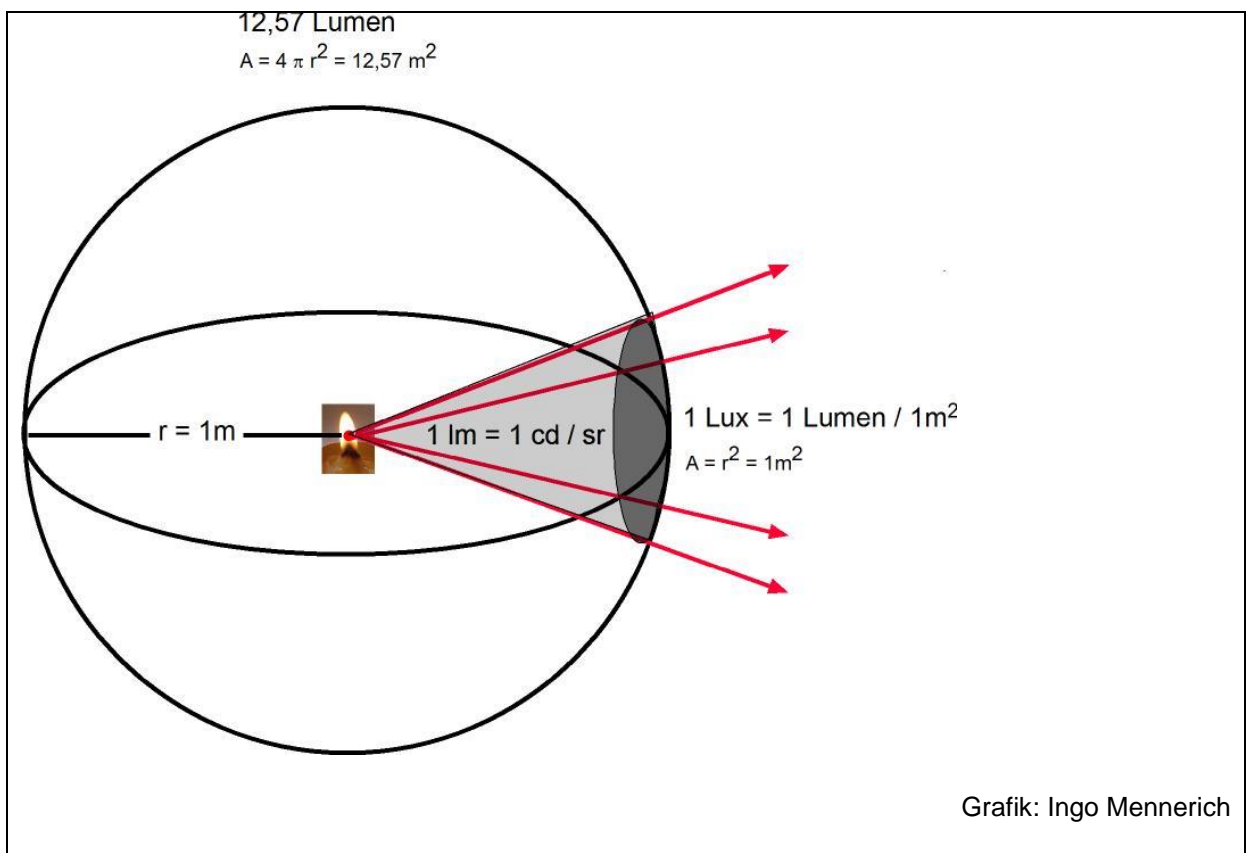
Aus der mit dem Luxmeter gemessenen **Beleuchtungsstärke** kann die **Lichtstärke** (Candela) und der **Lichtstrom** (Lumen) der Leuchte errechnet werden.

Lichtstärke (Candela) und **Lichtstrom** (Lumen) sind ein objektive, von der Entfernung und vom ausgeleuchteten Raum unabhängige Maße. Die **Umrechnung** in Lumen und Candela ermöglicht, den **Wirkungsgrad** der Leuchte, also das Verhältnis zwischen Energieumsatz und Lichtstärke abzuschätzen.

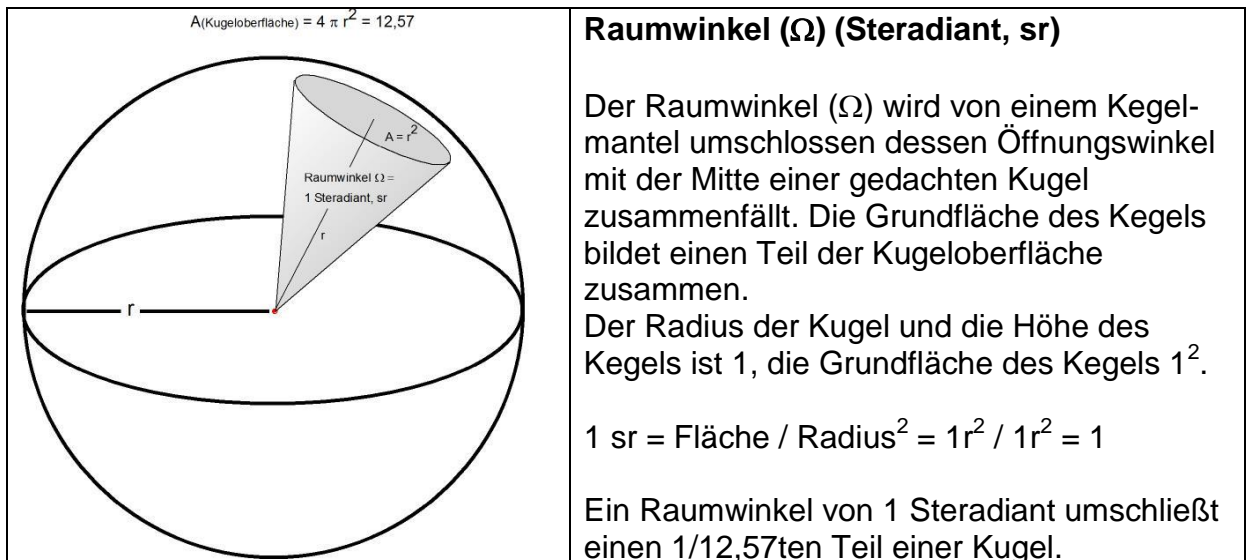
1 **Lux** ist die **Beleuchtungsstärke** welche eine Lichtquelle mit der **Lichtstärke 1 Candela** (cd) im Abstand des (Einheits)Radius 1 einer (Einheits)Kugel auf einen Ausschnitt mit der (Einheits)Fläche von 1 m^2 wirft.

Auf eine Kugel mit dem Radius 1 m bezogen heißt das:

1 **Lux** ist die **Beleuchtungsstärke** welche eine Lichtquelle mit der **Lichtstärke 1 Candela** (cd) auf eine Fläche von 1 m^2 einer (gedachten) Kugel mit dem Radius 1 m wirft.



Lichtstärke (I_v)	Candela	cd	$1 \text{ cd} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{sr}}$
Lichtstrom (Φ)	Lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ sr} \cdot \text{cd}$
Beleuchtungsstärke (E_v):	Lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{sr} \cdot \text{cd}}{\text{m}^2}$
Raumwinkel (Ω)	Steradian	sr	$1 \text{ sr} = \frac{[\text{Fläche}]}{[\text{Radius}^2]} = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^2}$



Der Raumwinkel Ω in Steradian (sr) ist gleich 2 mal π multipliziert mit 1 minus dem Cosinus des halben Öffnungswinkel θ in Grad.

$$\Omega_{(\text{sr})} = 2\pi(1 - \cos(\theta/2))$$

Die Oberfläche der Kugel ist $4\pi r^2$

Der **Raumwinkel** Ω der Kugel beträgt mit $\theta = 360^\circ = 2\pi(1 - \cos(360/2)) = 12,57 \text{ sr}$,

Beispiel Kerze: Wie hängen die drei Einheiten zusammen?

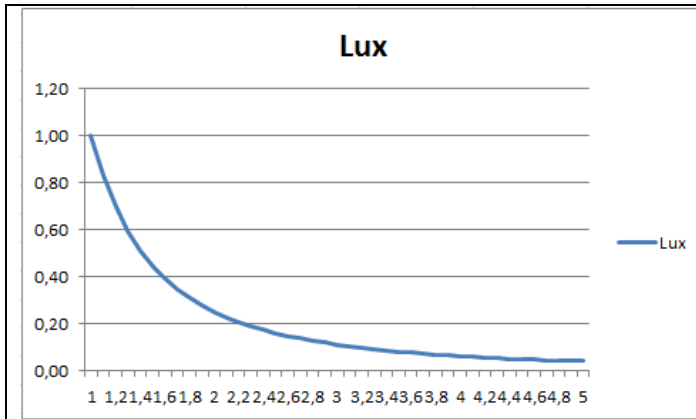
- Eine Kerze hat eine **Lichtstärke** (I_v) von etwa 1 cd (Candela, lat. "Kerze") pro **Steradian**
- Die Kerze gibt ihr Licht (ihren **Lichtstrom** in Lumen) nahezu in alle Richtungen ab.

Denken wir uns eine unsichtbare Kugel mit dem Radius 1 m in deren Mitte die Kerzenflamme steht.

- Die **Oberfläche** einer Kugel beträgt $A = 4\pi r^2$
- 4π ist etwa 12,57.
- Eine Kugel mit dem Radius 1 m hat eine Oberfläche von $A = 4\pi 1^2 = 12,57 \text{ m}^2$
- Die **Beleuchtungsstärke** 1 Lux ist gleichbedeutend mit dem Lichtstrom von 1 Lumen pro Quadratmeter der Kugeloberfläche ($1 \text{ Lux} = 1 \text{ lm/m}^2$)
- Daraus folgt: Die Kerze gibt 12,57 Lumen an die Kugeloberfläche ab.
- Ein Quadratmeter der Kugeloberfläche, also der 1/12,57ste Teil, erhält 1 Lumen

Je größer der Radius der Kugel ist desto größer ist die Kugeloberfläche und desto geringer ist der Lichtstrom pro Quadratmeter (Beleuchtungsstärke)

- Eine Kugel mit dem Radius 2 m hat eine Oberfläche von $4\pi r^2 = 50,27 \text{ m}^2$.
- Der (mit 1 cd Lichtstärke unveränderte) Lichtstrom von ca. 12,57 Lumen verteilt sich auf $50,27 \text{ m}^2$: Ein Quadratmeter erhält $12,57 / 50,27 = 0,25 \text{ Lux}$.



Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von der Entfernung in Metern

Aufgabe:

Berechne die Beleuchtungsstärke einer Kerzenflamme im Abstand von 5 m

Lösung:

$$A_{\text{Kugel}} = 4\pi \times 5^2 = 78,54 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ cd} = 12,57 \text{ lm}$$

$$E_v = 12,57 / 78,54 \text{ m}^2 = 0,16 \text{ Lux}$$

Lux in Lumen und Candela verwandeln

Die Beleuchtungsstärke (Lux) ist abhängig von der Distanz Lichtquelle - Luxmeter. Sie sinkt mit steigender Entfernung weil sich das Licht auf stets größere Kugeloberflächen verteilt. Die Oberfläche einer Kugel wächst mit dem 4π fachen Quadrat des Kugelradius. Folglich empfangen gleich große Flächen mit zunehmender Distanz immer weniger Energie.

Umrechnung

Beleuchtungsstärke Lux (lx) ► Lichtstrom Lumen (lm)

Lux ist ein **entfernungsabhängiger** Wert. Er gibt die auf eine Fläche (m²) bezogene Beleuchtungsstärke wieder. Die Beleuchtungsstärke sinkt mit wachsender Distanz zur Lichtquelle.

Lumen ist ein **entfernungsunabhängiger** Wert. Er gibt den von einer Leuchte in einen bestimmten Raumwinkel ausgesandten Lichtstrom an.

Zur Beurteilung der Leuchte muss Lux daher in Lumen umgerechnet werden.

Lumen lässt sich aus Lux und der beleuchteten Fläche berechnen:

Der **Lichtstrom** Φ_V in Lumen (lm) ist gleich der mit der beleuchteten **Fläche** A in Quadratmetern (m²) multiplizierten **Beleuchtungsstärke** E_v in lux (lx)

$$\Phi_{V(\text{lm})} = E_{v(\text{lx})} \times A_{(\text{m}^2)}$$

Für eine kugelförmige Lichtquelle gilt:

A ist gleich der Oberfläche einer gedachten Kugel mit der Lichtquelle im Zentrum

$$\text{Kugeloberfläche: } A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

Daraus folgt:

Der Lichtstrom Φ_V in lumen (lm) ist gleich der mit der Kugeloberfläche multiplizierten Beleuchtungsstärke in lux (lx)

$$\Phi_{V(\text{lm})} = E_{v(\text{lx})} \times 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

Also:

$$\text{Lumen} = \text{Lux} \times \text{Fläche in Quadratmetern oder } \mathbf{lm = lx \times m^2}$$

Beispiele:

- 1) Wie groß ist der auf eine Fläche von 4 Quadratmetern fallende Lichtstrom einer und einer Beleuchtungsstärke von 500 Lux?

$$\Phi_{V(lm)} = 500\text{lux} \times 4\text{m}^2 = 2000 \text{ lm}$$

- 2) Wie groß ist der Lichtstrom einer Leuchte und einer in 1 m Distanz gemessenen Beleuchtungsstärke von 500 Lux?

$$\Phi_{V(lm)} = 500\text{lux} \times 12,57\text{m}^2 = 6285 \text{ lm} \quad (A = 4 \cdot \pi \cdot 1^2 \sim 12,57)$$

- 3) Wie groß ist der Lichtstrom einer Leuchte und einer in 5 m Distanz gemessenen Beleuchtungsstärke von 500 Lux?

$$\Phi_{V(lm)} = 500\text{lux} \times 314,2\text{m}^2 = 157079,6 \text{ lm} \quad (A = 4 \cdot \pi \cdot 5^2 \sim 314,2)$$

Umrechnung Beleuchtungsstärke Lux (lx) ► Lichtstärke Candela (cd)

Die Lichtstärke (Candela) lässt sich aus Lux und der beleuchteten Fläche berechnen:

Die **Lichtstärke** I_v in Candela (cd) ist gleich der Beleuchtungsstärke E_v in Lux (lx) multipliziert mit dem Quadrat der Entfernung zur Lichtquelle (d) in Metern (m)

$$I_{v(cd)} = E_{v(lx)} \times (d_{(m)})^2$$

Also:

Candela = Lux x Quadrat der Entfernung in Metern

Oder

$$\text{cd} = \text{lx} \times \text{m}^2$$

Beispiele:

Wie groß ist die Lichtstärke einer Leuchte wenn die Beleuchtungsstärke in 1 Meter Distanz 500 Lux beträgt?

$$I_{v(cd)} = 500\text{lx} \times 1^2 = 500 \text{ cd}$$

Wie groß ist die Lichtstärke einer Leuchte wenn die Beleuchtungsstärke in 5 Meter Distanz 500 Lux beträgt?

$$I_{v(cd)} = 500\text{lx} \times 5^2 = 12500 \text{ cd}$$

Candela in Lumen verwandeln

Umrechnung

Lichtstärke Candela (cd) ► Lichtstrom Lumen (lm)

Für isotrope, gleichmäßig in alle Richtungen strahlende Lichtquellen gilt:

Der **Lichtstrom** Φ_v in Lumen (lm) ist gleich der **Lichtstärke** I_v in Candela (cd) multipliziert mit dem Raumwinkel Ω in Steradian (sr)

$$\Phi_{v(\text{lm})} = I_{v(\text{cd})} \times \Omega_{(\text{sr})}$$

Der Raumwinkel Ω in Steradian (sr) ist gleich 2 mal π multipliziert mit 1 minus dem Cosinus des halben Öffnungswinkel θ in Grad.

$$\Omega_{(\text{sr})} = 2\pi(1 - \cos(\theta/2))$$

Daraus folgt:

$$\Phi_{v(\text{lm})} = I_{v(\text{cd})} \times (2\pi(1 - \cos(\theta/2)))$$

Also

$$\text{Lumen} = \text{Candela} \times (2\pi(1 - \cos(\text{Grad}/2)))$$

Oder

$$\text{lm} = \text{cd} \times (2\pi(1 - \cos(^{\circ}/2)))$$

Beispiel:

Der Lichtstrom Φ_v in Lumen (lm) einer Lichtquelle mit der Lichtstärke 400 cd und einem Öffnungswinkel von 60° ist

$$\Phi_{v(\text{lm})} = 400 \text{ cd} \times (2\pi(1 - \cos(60^{\circ}/2))) = 336.7 \text{ lm}$$

Öffnungswinkel: Lichtstrom und Lichtstärke von Strahlern bestimmen

Bisher haben wir uns nur mit (isotropen) Lichtquellen beschäftigt die ihr Licht gleichmäßig in alle Richtungen abgeben. Unter Berücksichtigung des **Öffnungswinkels** lässt sich aber auch der Lichtstrom nicht in alle Richtungen gleichmäßig strahlender (anisotroper) Leuchten berechnen.

Beispiel:

Ein LED-Strahler hat einen Öffnungswinkel von 30°. Er gibt damit einen auf einen Kegelmantel mit θ 30° konzentrierten Lichtstrom ab. Außerhalb dieses Kegelmantels sei der Raum unbeleuchtet.

In einer Distanz von $d = 2 \text{ m}$ wird eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux gemessen

Die Lichtstärke beträgt $I_{v(\text{cd})} = E_{v(\text{lx})} \times (d_{(\text{m})})^2 = 500 \times 2^2 = 2000 \text{ cd}$

Der Lichtstrom errechnet sich wie folgt:

$$\Phi_{v(\text{lm})} = 2000 \text{ cd} \times (2\pi(1 - \cos(30^\circ/2))) = 1000 \times 6,283 (1 - 0,966) = 428,2 \text{ lm}$$



ARBEITSBLATT

Wie viele Kerzen braucht man, wenn der Strom ausfällt?

- Schalte die 40 Watt Glühlampe ein
- Lasse mehrere Teelichte in einer mit Wasser gefüllten Schale schwimmen
- Zünde so viele davon an dass sie zusammen genau so hell sind wie die Leuchte

Überprüfe das Ergebnis mit dem Luxmeter

Achte dabei auf gleiche Abstände!

Glühlampe	Teelichte
	 X _____

Hintergrund:

Eine 40W Standardglühlampe erzeugt einen Lichtstrom von 389 Lumen.

Das entspricht in z.B. 2 m Messabstand einer Beleuchtungsstärke von

$$E_{V(lx)} = \Phi_{V(lm)} / (4 \cdot \pi \cdot r_{(m)}^2) = 389lm / (4 \cdot \pi \cdot 2_{(m)}^2) = 7,74lx$$

Umrechnung Lux ► Candela $I_{V(cd)} = E_{V(lx)} \times (d_{(m)})^2$

$$I_{V(cd)} = 7,74 \times 2m^2 = 31cd \text{ entsprechend etwa 31 Teelichten.}$$

Lichtströme von Standardglühlampen (klar) nach Angaben Fa. Paulmann, www.paulmann.com:

15W = 100lm, 25W = 207lm, 40W = 389lm, 60W = 654lm, 75W = 864lm, 100W = 1297lm

ARBEITSBLATT

Beleuchtungsstärke und Abstand zur Lichtquelle

Die **Beleuchtungsstärke** (Lux) ist der **Lichtstrom** (Lumen, lm) der auf eine Fläche von 1 Quadratmeter (m^2) fällt.

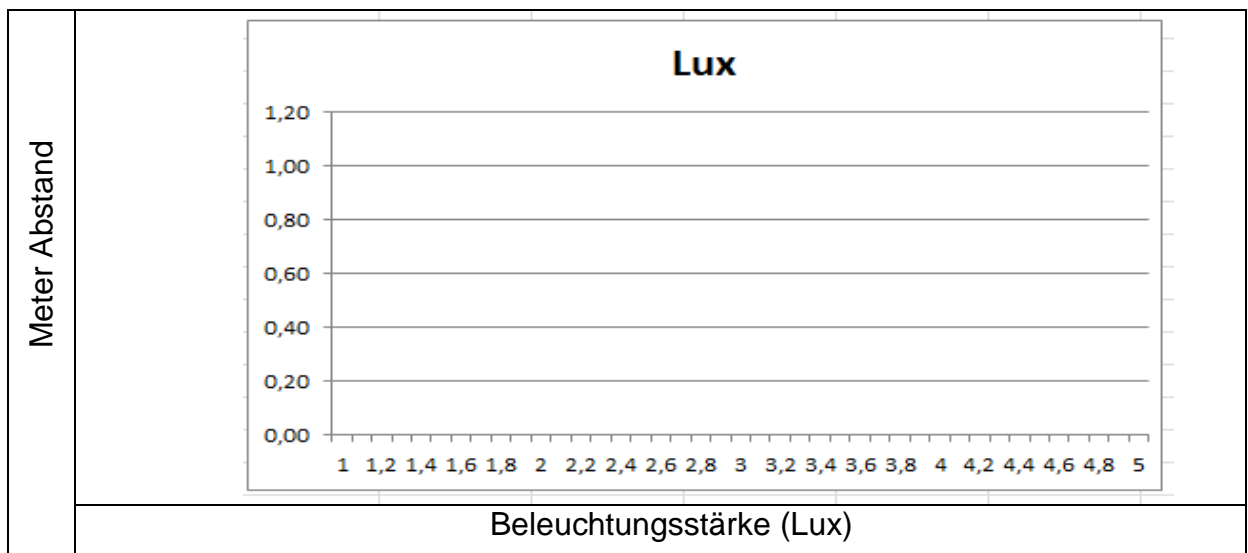
Miss die **Beleuchtungsstärke** einer Kerzenflamme in 1, 2, 3, 4 und 5 m Abstand.

Achtung: Die Umgebung der Kerze muss völlig **dunkel** sein!

Abstand Kerzenflamme - Luxmeter	Beleuchtungsstärke
1 m	1,00
2 m	0,25
3 m	0,11
4 m	0,06
5 m	0,04

Welche Zusammenhänge kannst du erkennen?

Trage die Werte in einen Graphen ein.



ARBEITSBLATT

Wie viel Licht erzeugt eine Glühlampe? (1)

Berechne die **Lichtstärke** (I_v in candela, cd) der 40W-Glühlampe

- Miss die **Beleuchtungsstärke** (E_v in Lux, lx) **im Abstand von 1, 2, 3, 4 und 5 m.**
- Achte darauf, dass **kein Restlicht** in den Raum fällt!
- Setze ein Rohr auf den Sensor des Luxmeters um zu verhindern, dass Licht von der Seite einfällt. Richte das Rohr genau auf die Lichtquelle.

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
_____ Lux	_____ Lux	_____ Lux	_____ Lux	_____ Lux

- 1 Lux ist die auf eine Fläche von 1m^2 fallende Beleuchtungsstärke einer Lichtquelle mit der Lichtstärke 1 cd ($1\text{ Lux} = 1\text{ cd/m}^2$)
- Berechne die Lichtstärke nach der Formel

$$\text{Lichtstärke} = \text{Beleuchtungsstärke} \times \text{Distanz}^2$$

$$I_{v(\text{cd})} = E_{v(\text{lx})} \times (d_{(\text{m})})^2$$

(Candela = Lux \times Quadrat der Entfernung in Metern)

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
_____ cd	_____ cd	_____ cd	_____ cd	_____ cd

Was fällt dir bei den Ergebnissen auf?

Messwerte

Korrigiert um das von Messpunkt zu Messpunkt unterschiedliche Restlicht

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
34,4 Lux	10,5 Lux	6,0 Lux	3,3 Lux	1,8 Lux

$$I_{v(\text{cd})} = E_{v(\text{lx})} \times (d_{(\text{m})})^2$$

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
34,4 cd	42,0 cd	54,0 cd	52,8 cd	45,0 cd

Ideal: Glühlampe 40 W gibt eine Lichtstärke von 40 cd ab

Daraus würden sich folgende Idealwerte ergeben

$$E_{v(\text{lx})} = \times I_{v(\text{cd})} / (d_{(\text{m})})^2 \text{ mit } I_v = 40 \text{ cd}$$

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
40 Lux	10 Lux	4,44 Lux	2,5 Lux	1,6 Lux
40 cd	40 cd	40 cd	40 cd	40 cd

ARBEITSBLATT

Wie viel Licht erzeugt eine Glühlampe? (2)

Berechne den **Lichtstrom** (Φ_v in Lumen, lm) der 40W-Glühlampe

- Miss die **Beleuchtungsstärke** (E_v in Lux, lx) **im Abstand von genau (!) 1, 2, 3, 4 und 5 m.**
- Achte darauf, dass **kein Restlicht** in den Raum fällt!
- Setze ein Rohr auf den Sensor des Luxmeters um zu verhindern, dass Licht von der Seite einfällt. Richte das Rohr genau auf die Lichtquelle.

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
_____ Lux	_____ Lux	_____ Lux	_____ Lux	_____ Lux

- 1 Lumen ist der im Abstand von 1 m zur Lichtquelle auf eine Fläche von 1m² fallende Lichtstrom.
- Berechne den Lichtstrom nach der Formel

Lichtstrom = Beleuchtungsstärke x 4π x Distanz²

$$\Phi_{V(\text{lm})} = E_{V(\text{lx})} \times 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

(Lumen = Lux x 4 x π x Quadrat der Entfernung in Metern)

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
_____ lm	_____ lm	_____ lm	_____ lm	_____ lm

Was fällt dir bei diesem Ergebnis auf?

Messwerte

Korrigiert um das von Messpunkt zu Messpunkt unterschiedliche Restlicht

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
34,4 Lux	10,5 Lux	6,0 Lux	3,3 Lux	1,8 Lux

$$\Phi_{V(lm)} = E_{V(lx)} \times 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
432,3 lm	527 lm	678,6 lm	663,5 lm	565,5 lm

Ideale Werte: Glühlampe 40 W gibt eine Lichtstärke von 40 cd ab

Daraus würden sich folgende Idealwerte ergeben

$$E_{V(lx)} = \times I_{V(cd)} / (d_{(m)})^2 \text{ mit } I_V = 40 \text{ cd}$$

d = 1 m	d = 2 m	d = 3 m	d = 4 m	d = 5 m
40 Lux	10 Lux	4,44 Lux	2,5 Lux	1,6 Lux
40 cd	40 cd	40 cd	40 cd	40 cd

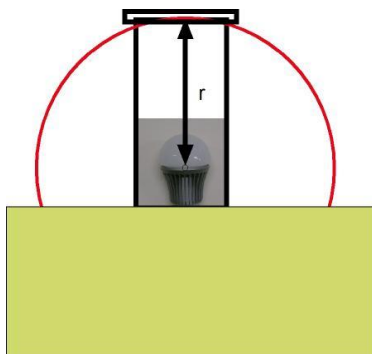
502,65 lm	502,65 lm	502,65 lm	502,65 lm	502,65 lm
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

ARBEITSBLATT

Welche Leuchte gibt das meiste Licht ab?

Berechne den **Lichtstrom** (Φ in Lumen, lm) der Leuchten 1 - 9

- Setze das Plastikrohr mit Verschlusskappe auf die Lichtquelle.
- Die spiegelnde Rohr-Innenseite reflektiert seitlich und nach unten abgestrahltes Licht.
- Miss den Abstand zwischen der Lichtquelle und dem Luxmeter (Kugelradius r)
- Halte den Sensor des Luxmeters in die Öffnung der Verschlusskappe



- Miss die Beleuchtungsstärke (E_v in Lux, lx)
- $1 \text{ Lux} = 1 \text{ lm/m}^2$
- Denke dir eine Kugel mit einem Radius Lichtquelle - Luxmeter
- Die Leuchte ist das Zentrum der Kugel

- Wie groß ist die Oberfläche der gedachten Kugeln in Metern?
- Die Formel für eine Kugeloberfläche ist $A = 4\pi r^2$

Berechne die Oberfläche der Kugel:

$$A = 4\pi r^2 \quad (\pi \sim 3,14)$$

Berechne den Lichtstrom Φ der Leuchten:

$$\Phi = E_v \times A$$

1: _____lm	4: _____lm	7: _____lm
2: _____lm	5: _____lm	8: _____lm
3: _____lm	6: _____lm	9: _____lm

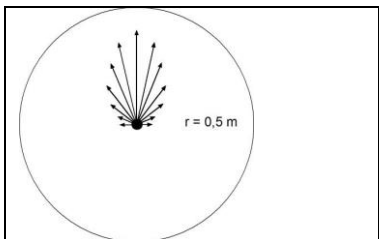
ARBEITSBLATT

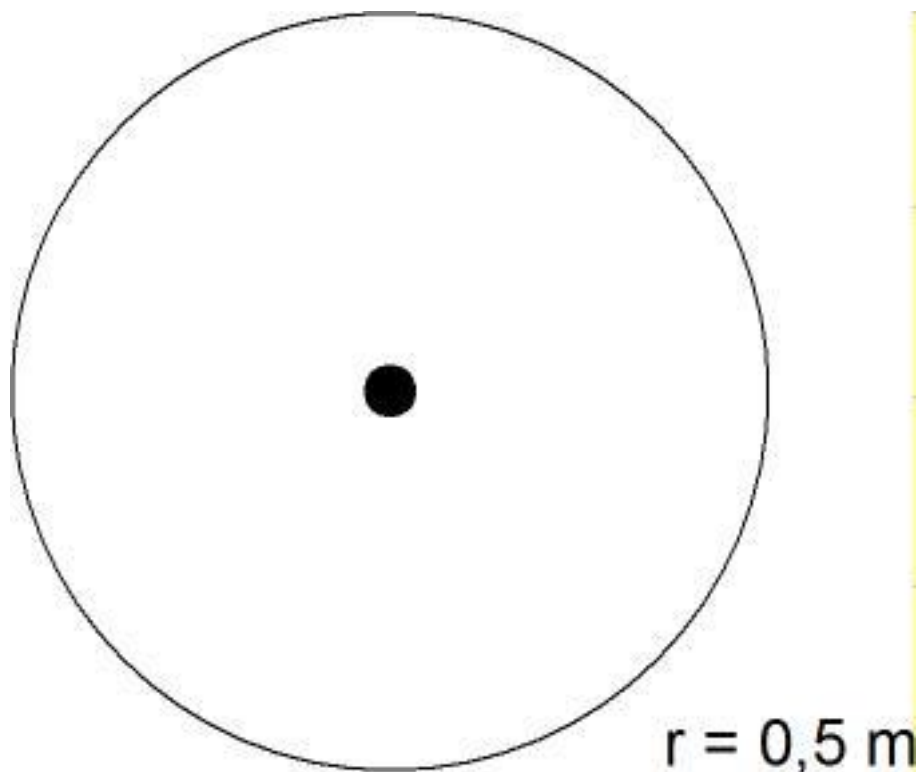
Untersuche das "Strahlungsprofil" der Leuchten

Glühlampen und Kompaktleuchtstofföhren geben ihr Licht in fast alle Richtungen ab.

Das ist bei LED-Leuchten und Strahlern nicht der Fall.

- Schaue dir die Form der Leuchten an.
- Nimm mit dem Luxmeter ein Lichtprofil einer der Leuchten auf

	<ul style="list-style-type: none">• Gehe dazu im Abstand von 0,5 m mit dem Luxmeter um die Leuchte herum• Nimm im Abstand von 15° die Beleuchtungsstärke (Lux) auf• Zeichne die "Lichtstrahlen" im Verhältnis zur Beleuchtungsstärke ein (Beispiel links)
---	---

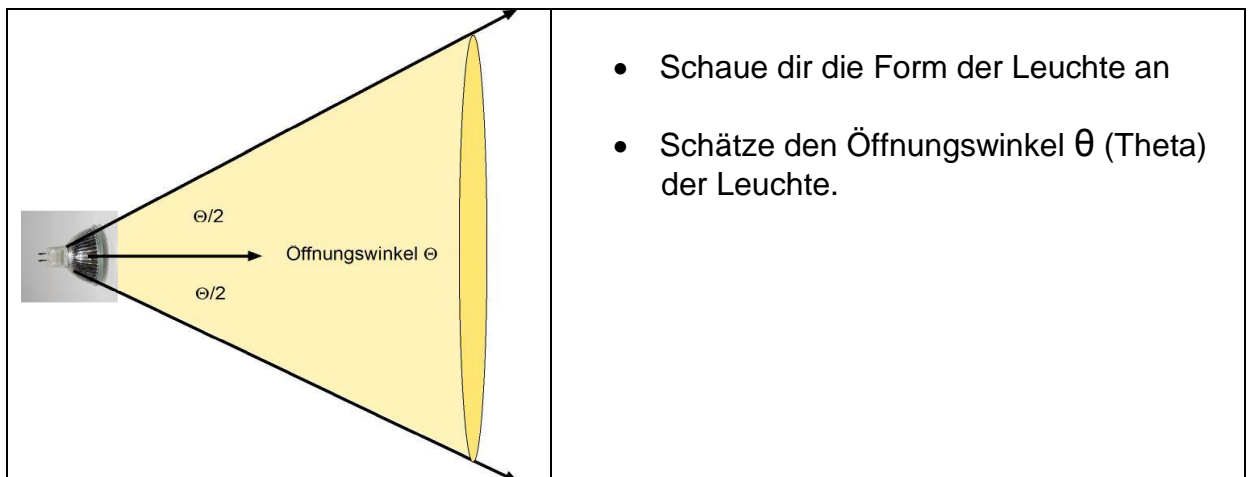


ARBEITSBLATT

Öffnungswinkel ("Strahlungsprofil") und Lichtstrom

Glühlampen und Kompaktleuchtstofföhren geben ihr Licht in fast alle Richtungen ab.

Das ist bei LED-Leuchten und Strahlern nicht der Fall.



- Miss die **Beleuchtungsstärke** (Lux)
- Miss die **Distanz** Lichtquelle - Luxmeter
- Berechne die **Lichtstärke** (Candela) nach der Formel

$$I_{v(cd)} = E_{v(lx)} \times (d_{(m)})^2$$

- Berechne den **Lichtstrom** nach der Formel

Lichtstrom = Lichtstärke $\times 2\pi \times (1 - \cos(\frac{1}{2} \text{ Öffnungswinkel}))$

$$\Phi_{v(lm)} = I_{v(cd)} \times (2\pi(1 - \cos(\theta/2)))$$

$$(\text{Lumen} = \text{Lux} \times 2 \times \pi \times (1 - \cos(\text{Theta}/2))$$




Ergebnis:

Der Lichtstrom beträgt _____ lm

ARBEITSBLATT

Beleuchtungsstärke, Distanz, Öffnungswinkel, Lichtstärke und Lichtstrom

Leuchten 1 - 3

Leuchte	#	Beleuchtungsstärke Lux (lx)	Distanz Meter (m)	Öffnungswinkel θ Grad (°)	Lichtstärke Candela (cd)	Lichtstrom Lumen (lm)
	1					
	2					
	3					

Formeln:







Beleuchtungsstärke (lx) in Lichtstärke (cd) verwandeln:

$$I_{v(cd)} = E_{v(lx)} \times (d_{(m)})^2$$

Lichtstärke (cd) in Lichtstrom (lm) verwandeln:

$$\Phi_{v(lm)} = I_{v(cd)} \times (2\pi(1 - \cos(\theta/2)))$$

Leuchten 4 - 9

Leuchte	#	Beleuchtungs- stärke Lux (lx)	Distanz Meter (m)	Öffnungs- winkel Grad (°)	Lichtstärke Candela (cd)	Lichtstrom Lumen (lm)
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					

Warmes und kaltes Licht: Spektrum und Farbtemperatur

Untersuchung der Lichtqualität und des Farbtons mit dem Handspektroskop



Das zum LMV gehörende Handspektroskop zeigt die spektralen Eigenschaften einer Lichtquelle. Das wertvolle Gerät sollte, damit es nicht zu Boden fällt, stets von einem am Arbeitstisch befestigten Stativ gehalten werden. Das Licht fällt an der Vorderseite (Abbildung linke Seite) ein, wird durch einen mit einem Ring verstellbaren Spalt verengt, durch ein Prisma in seine Farbanteile zerlegt und durch das Okular betrachtet.

Dabei gilt: Je schmaler die Öffnung, desto lichtschwächer das Bild und desto größer die Auflösung.

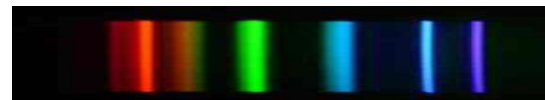
Der Okularauszug muss so eingestellt werden, dass die die Ober- und Unterkanten des Spektrums scharf wiedergegeben werden.

Mit digitalen Kleinkameras aber auch Fotohandys gelangen unter Umständen recht gute Aufnahmen des Spektrums. Dazu sollten das Spektroskop und ggf. auch die Kamera in einer geeigneten Stativhalterung ruhen.

Das bereits beschriebene Messrohr zur Helligkeitsbestimmung verfügt über eine seitlich unter der Oberkante angebrachte Bohrung durch die etwas Licht tritt und gut für die Spektroskopie nutzbar ist.



Spektrum Halogenleuchte



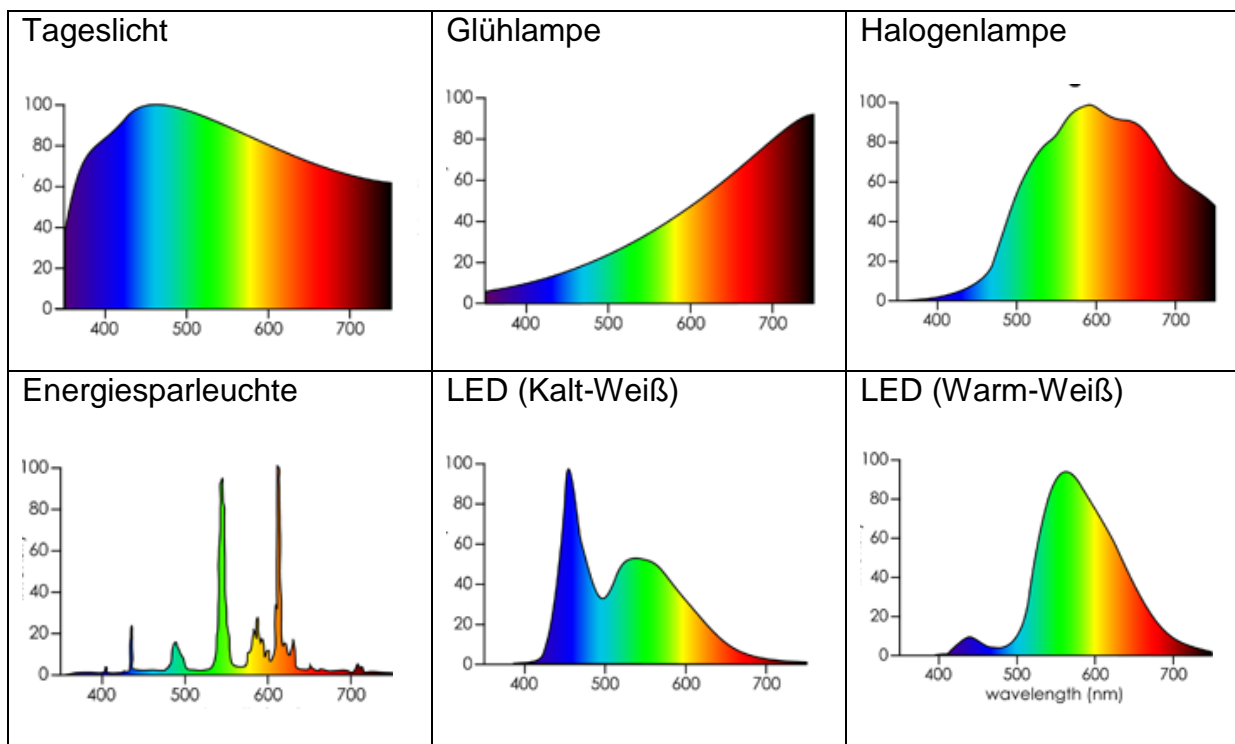
Spektrum Energiesparleuchte

Schon bei einer ersten Betrachtung fällt auf, dass Glühlampen, wie auch das direkte oder reflektierte Tageslicht ein durchgängiges (kontinuierliches) Spektrum zeigen. Tageslicht enthält immer einen Blauanteil, bei Glühlampen hängt der Blauanteil von der Leistung und der Lichtfarbe ab: Je heller und weißer, desto höher der Blauanteil. Schwache und rötlich-gelb leuchtende Glühlampen enthalten nur sehr wenig Blau. Halogenleuchten strahlen viel Blau ab.

Leuchtstoffröhren und Energiesparleuchten (d.h. Kompaktleuchtstoffröhren!) geben ein diskretes so genanntes Linienspektrum ab. Der Farbeindruck "weiß" kommt durch additive Farbmischung zustande. Bei genauer Untersuchung wird zu sehen, dass die blau-violetten Banden "warm" leuchtende Energiesparleuchten schwächer sind als bei "kalt" leuchtenden.

LED-Leuchten zeigen ein kontinuierliches Spektrum mit "Tälern".

Die folgende Tabelle zeigt das (sichtbare) Spektrum von Tageslicht und verschiedenen Leuchten sowie die, im Spektroskop nicht sichtbare Intensitätsverteilung (0 - 100) über den Wellenbereich des sichtbaren Lichts (380 - 780 nm)



Hinweis

Die Funktionsweisen und physikalisch-technischen Hintergründe der im LMV eingesetzten Leuchtmittel werden in einer weiteren Arbeitshilfe des Schul-LABs ("Experimente mit Glühlampen, Leuchtstoffröhren und LEDs") näher beleuchtet.

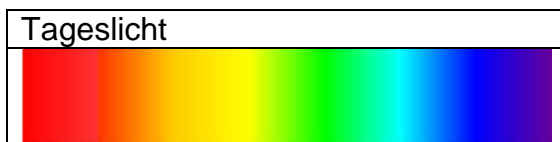
ARBEITSBLATT

Betrachte eine dieser Leuchten mit dem Spektroskop!

- Glühlampe
- Halogenleuchte
- Energiesparleuchte
- LED-Leuchte

Versuche das Spektrum mit Buntstiften nachzuzeichnen!

Beispiel: Spektrum Tageslicht



Glühlampe

Halogenleuchte

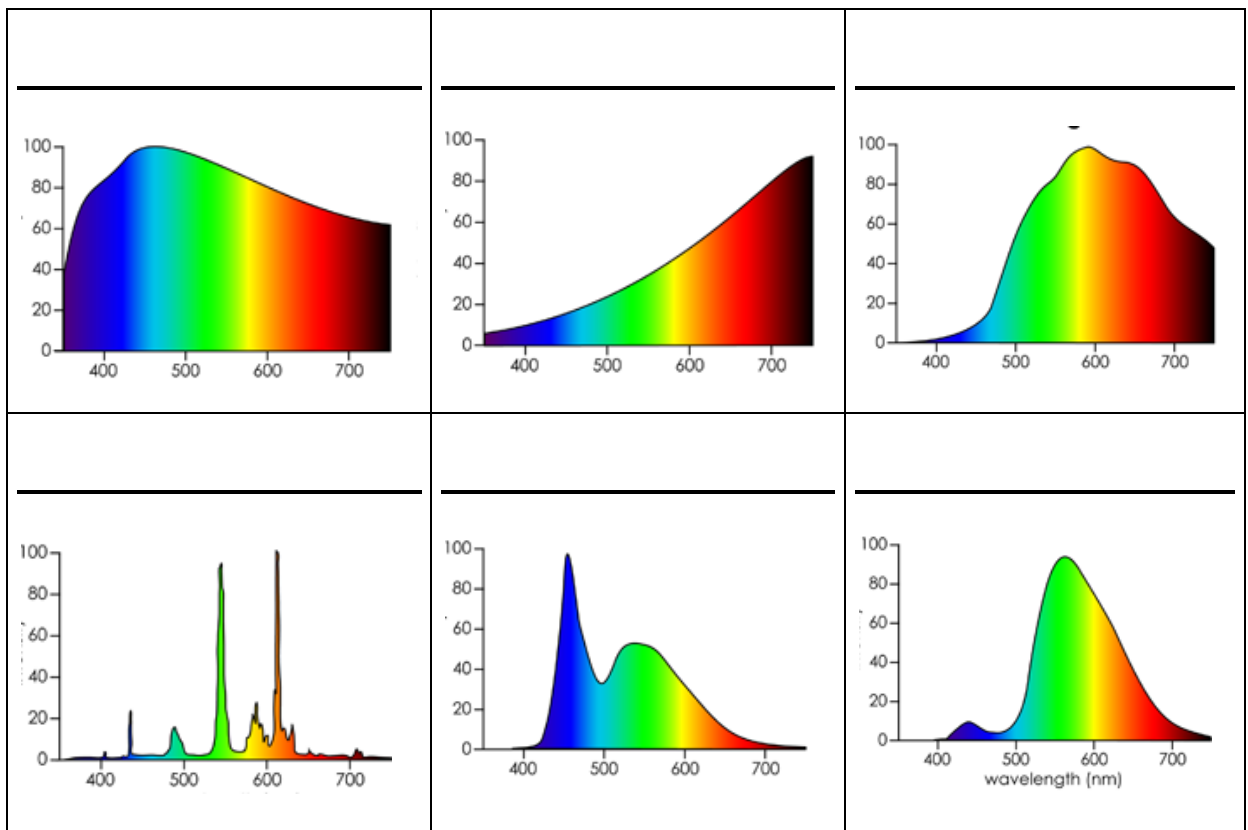
Halogenleuchte

--

ARBEITSBLATT

Spektrum und Intensitätsverteilung der Leuchten

- Betrachte die Leuchten mit dem Spektroskop
- Die folgenden 6 Abbildungen zeigen die Spektren und die Helligkeitsverteilung verschiedener Lichtquellen.
- Ordne die die Abbildungen diesen Lichtquellen zu:
 - Energiesparleuchte
 - Glühlampe
 - Halogenlampe
 - LED (Kalt-Weiß)
 - LED (Warm-Weiß)
 - Tageslicht



Die Farbtemperatur:

"warmes" und "Kaltes" Licht, Tageslicht, "kalte" rote und "heiße" blaue Sterne

Ein wichtiges Entscheidungskriterium beim Kauf einer Leuchte sind ihre Farbeigenschaften. Die Präferenzen sind zweckgebunden: Im Arbeitszimmer wird man tageslichtähnliches, im Wohn- und Schlafbereich wahrscheinlich eher gemütliches Licht bevorzugen. Umgangssprachlich spricht gerne man von kaltem, bläulichen und warmem, rötlich-gelbem Licht.

Leuchtstoffröhren werden meistens als "kalt" empfunden, wobei es heutzutage durchaus solche mit "warmem" Licht gibt.

Legt man die Hand auf Leuchtstoffröhren mit "kaltem" bzw. "warmen" Licht wird man keinen Unterschied feststellen. Beide wandeln einen großen Teil der hineingesteckten elektrischen Leistung in Licht um und bleiben, im Gegensatz zur Glühlampe, recht kühl.

Wiederholt man das Experiment mit einer Glühlampe und einem Dimmer wird man einen scheinbar paradoxen Zusammenhang feststellen: Je kühler die Glühlampe, desto rötlicher leuchtet sie und desto wärmer empfinden wir ihre Farbe. Deshalb werden Glühlampen so gerne herabgedimmt. Ein Bühnenscheinwerfer wird sehr heiß erzeugt aber alles andere als ein gemütlich warmes Licht.

In welchem Zusammenhang steht die subjektiv empfundene Lichtfarbe mit der Temperatur der Lichtquelle?

Beim Kauf einer Leuchte begegnet uns die "Farbtemperatur", z.B. der Aufdruck "2700K" oder "ww". Was bedeutet das? 2700K ist die Farbtemperatur und "ww" heißt "warm white". Die Farbtemperatur wird in "Kelvin" (K) angegeben. Der Nullpunkt der Kelvin-Temperaturskala liegt bei -273°C , 2700K entspricht also etwa 2427°C . Eine Leuchte mit der Farbtemperatur 2700K leuchtet wie ein strahlender Körper, z.B. ein Stern oder ein stark erhitztes Metall mit einer Temperatur von 2700K. Der Glühfaden einer Glühlampe hat bei 2700K eine Farbtemperatur von 2700K und ist "warm white". Das gilt nicht für Leuchtstoffröhren, Kompaktleuchtstoffröhren ("Energiesparleuchten") und LED-Strahlern. Bei ihnen wird diese Farbtemperatur auf andere, energiesparende und "kühle" Weise erreicht.

Bei mit "ww" ("warmes Weiß") gekennzeichneten Strahlern liegt die Farbtemperatur nach DIN unter 3300 K. Weiterhin gibt es "neutrales Weiß" ("nw" zwischen 3300 und 5000 K) und Tageslicht-Weiß ("tw" über 5000 K).

ww < 3300 K

nw > 3300 - 5000 K

tw > 5000 K



Den rötlichen Schein eines Lagerfeuers empfinden wir als warm und "gemütlich", blaues Licht erscheint uns dagegen kalt.

Paradoxe Weise wird rotes Licht von relativ (!) kalten Strahlern, blaues Licht dagegen von relativ heißen Lichtquellen ausgesandt.

Rote Glut ist kälter als Weißglut. Feuerwehrleuten oder am Hochofen arbeitenden Menschen erkennen aus der Farbe die Temperatur brennender Gegenstände bzw. der abzustechenden Metallschmelze.

In einer klaren Nacht erkennt man unter den hellen Sternen rot leuchtende, z.B. den Aldebaran im Sternbild Stier und blau leuchtende, z.B. Sirius im Großen Hund.

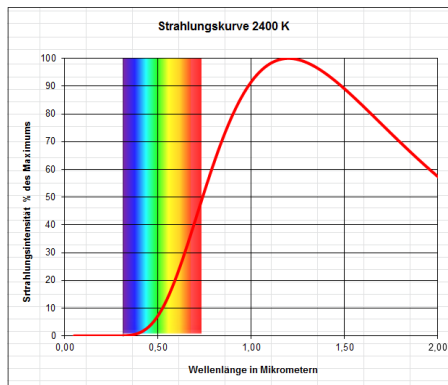


Bild: Astropixie

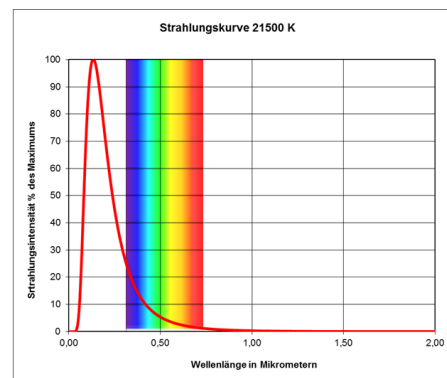
Unseren Augen rot erscheinende Sterne wie z.B. Beteigeuze im Sternbild Orion (links oben) sind mit 2400 K Oberflächentemperatur relativ "kalt" im Gegensatz zu blau leuchtenden Sternen wie Bellatrix mit 21500 K (rechts unten).

Mit Hilfe des **Planck'schen Strahlungsgesetzes** kann man aus der Farbe, genauer aus dem Farbspektrum z.B. eines Sternes dessen Oberflächentemperatur bestimmen. Und das, ohne dem Stern auch nur im Entferntesten näher kommen zu müssen.

Jeder Körper der wärmer ist als der absolute Nullpunkt (0 K) gibt elektromagnetische Strahlung ab. Das Planck'sche Strahlungsgesetz sagt kurz gefasst aus: Je heißer ein strahlender Körper desto kurzwelliger und energiereicher ist diese Strahlung.



Roter Stern Beteigeuze,
Oberflächentemperatur 2400 K

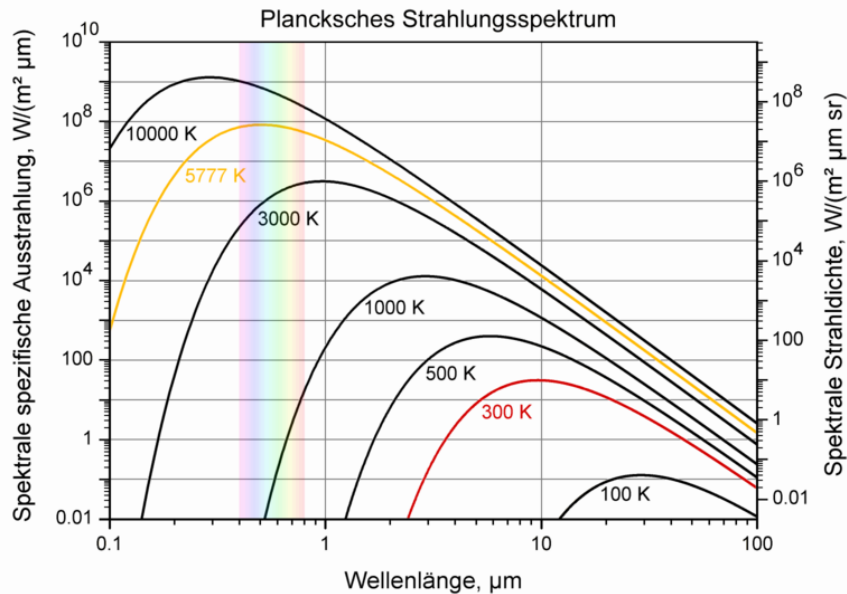


Blauer Stern Bellatrix,
Oberflächentemperatur 21500 K



Das Planck'sche Strahlungsgesetz beschreibt die Verteilung der vom strahlenden Körper abgegebenen elektromagnetischen Energie in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Die folgende Grafik verdeutlicht diesen Zusammenhang:



WIKIPEDIA Plank'sches Strahlungsspektrum

Je heißer der Körper, desto kurzwelliger und energiereicher die von ihm abgegebene Strahlung. Das Intensitätsmaximum der Strahlung wird mit steigender Temperatur immer kurzwelliger.

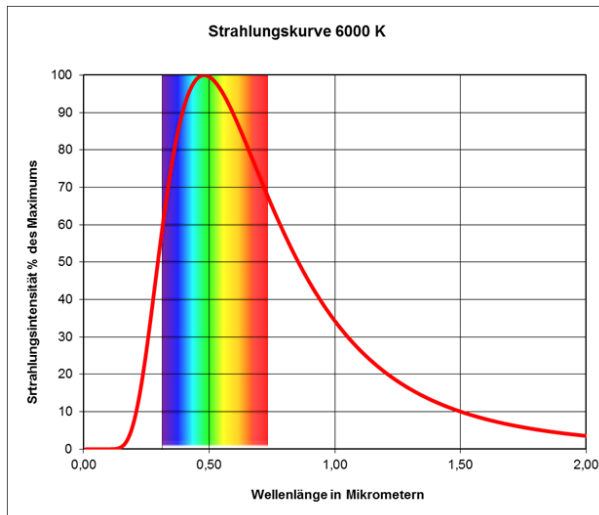
Die Wellenlänge des Strahlungsmaximums (λ_{max}) in Abhängigkeit von der Temperatur T (in Kelvin) lässt sich auch mit dem **Wienschen Verschiebungsgesetz** errechnen:

$$\lambda_{max} = 2897,8 \mu\text{m} / T$$

Für die Sonne ergibt sich ein Maximum bei $2897,8 \mu\text{m} / 6000\text{K} = 0,483 \mu\text{m} = 483 \text{ nm}$.

Licht ist von unseren Augen in Farbempfindungen umgewandelte elektromagnetische Strahlung. Im Falle der Sonne und der von ihr beleuchteten Objekte fällt das Strahlungsmaximum mit dem Wellenlängenbereich der für uns sichtbaren Strahlung, also des Lichts zusammen. Die Wellenlänge 483 nm sehen wir gelbgrün. Es ist zugleich das Empfindlichkeitsmaximum unserer Augen. Zufall? Nein:

Unsere Augen sind das Ergebnis eines Selektionsprozesses auf dieser Erde. Hätten wir uns auf einem anderen, einen vielleicht kälteren Stern umkreisenden Planeten entwickelt wäre das Ergebnis anders ausgefallen. Unser Sehvermögen entspricht der Oberflächentemperatur der Sonne (etwa 6000 Kelvin).



Strahlungsspektrum der Sonne.

Das Maximum der Strahlungsintensität fällt - nicht zufällig! - mit dem Spektrum des sichtbaren Lichts zusammen.

Der langwellige infrarote Anteil ist nur als Wärmestrahlung fühlbar.

Für die kurzwellige UV-Strahlung haben wir keine Empfangsorgane (nur den nachher auftretenden Sonnenbrand!).

Eine Temperatur von 6000 K erreicht kein Metall. Die Schmelztemperatur von Wolfram liegt bei 3695 K (3422 °C) und das entsprechende Strahlungsmaximum im Infraroten unterhalb des "Lichtfensters". Wirkliches Tageslicht könnte eine Glühlampe nur erzeugen, wenn ihr Glühfaden die Temperatur der Sonnenoberfläche hätte. Das bedeutet, dass die sichtbaren Wellenlängen auch bei sehr hellen Glühlampen nur angeschnitten werden. Deshalb ist eine Glühlampe eher eine Wärme- als eine Lichtquelle.

Die hohen Farbtemperaturen von Leuchtstoffröhren und LED-Strahlern werden nicht durch hohe Temperaturen der Strahler erreicht. Sie bleiben trotz hoher Farbtemperatur kalte Strahler:

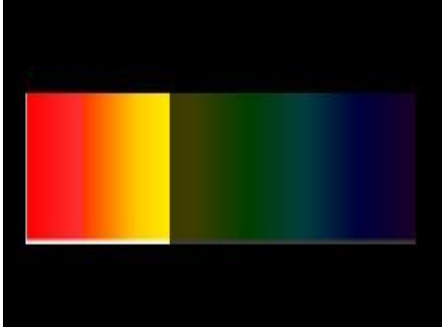
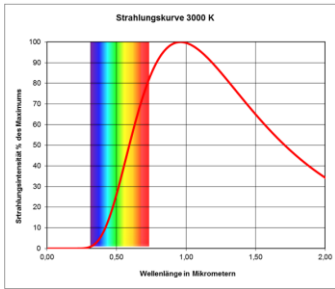
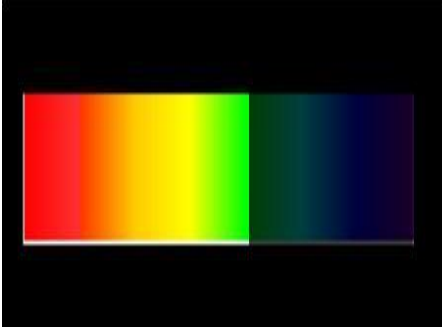
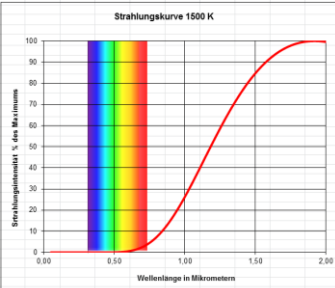
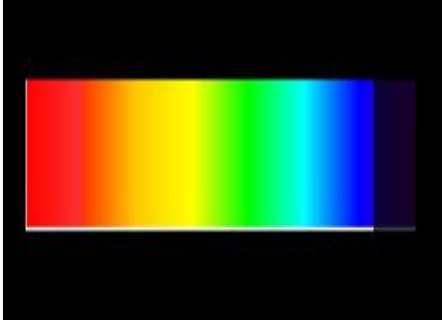
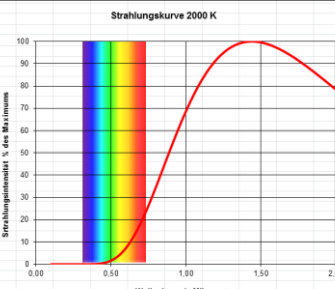
Bei Leuchtstoffröhren wird Quecksilberhaltiges Plasma zur Aussendung von unsichtbarem UV-Licht angeregt und dieses durch eine spezielle Beschichtung ("Leuchtstoff") in sichtbares Licht umgewandelt.

Bei (weißen) LEDs werden Elektronen bestimmter Atome angeregt von einem natürlichen auf ein höheres Energieniveau zu "springen". Beim spontanen Zurückfallen auf das ursprüngliche Niveau geben sie UV-Strahlung ab die - ähnlich bei Leuchtstoffröhren - durch bestimmte Stoffe in sichtbares Licht verwandelt werden.

ARBEITSBLATT

Temperatur des Strahlers, Spektrum und Intensitätsverteilung

- Schneide die drei fehlerhaft zugeordneten Strahlungskurven aus
- Klebe sie in der richtigen Reihenfolge neben die drei abgebildeten Spektren

ARBEITSBLATT

Spektrum einer Glühlampe mit einem Dimmer (1)

Verändere die Helligkeit der Glühlampe mit dem Dimmer.

Notiere jeweils die Farbe der Glühwendel und die Temperatur des Glaskolbens bei

- geringer Helligkeit: _____ , _____ °C
- mittlerer Helligkeit: _____ , _____ °C
- großer Helligkeit: _____ , _____ °C

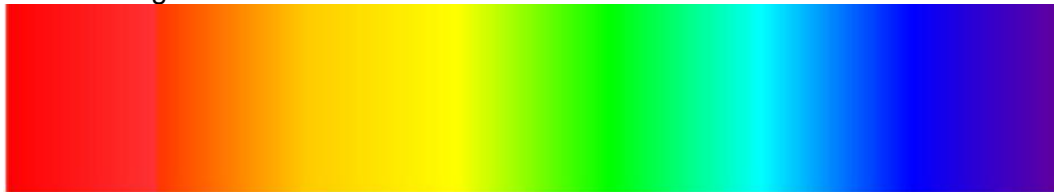
Richte ein Spektroskop auf die Glühlampe

Verändere ihre Helligkeit mit dem Dimmer und betrachte dabei das Spektrum bei

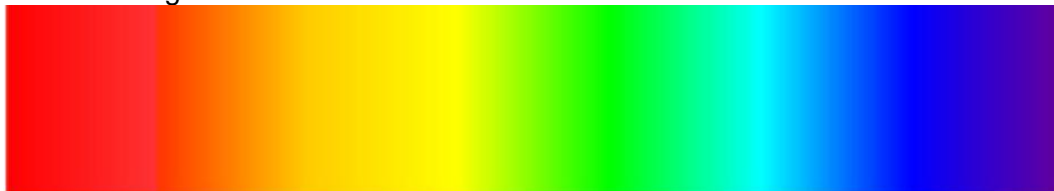
- Geringer Helligkeit
- Mittlerer Helligkeit
- Großer Helligkeit

Übermale mit dem Bleistift die Bereiche die du nur schwach siehst

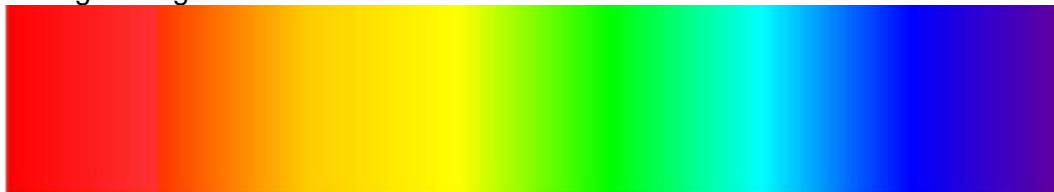
Große Helligkeit



Mittlere Helligkeit



Geringe Helligkeit

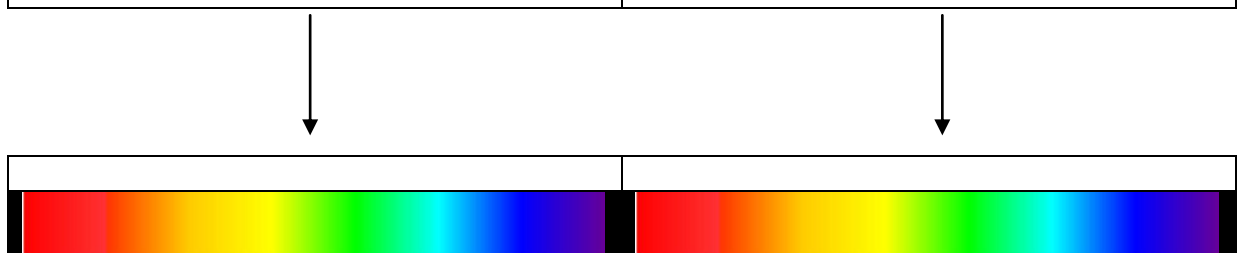
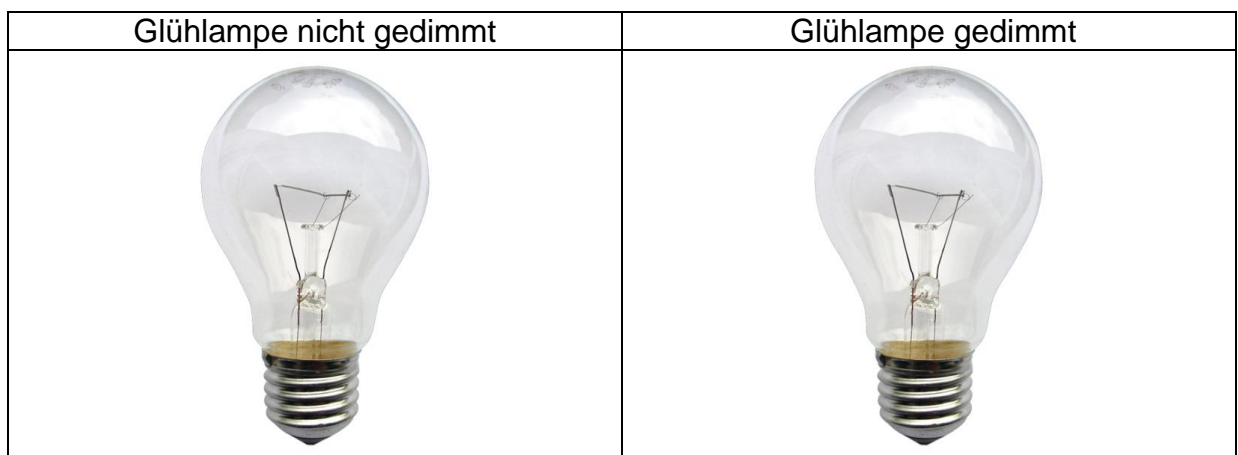
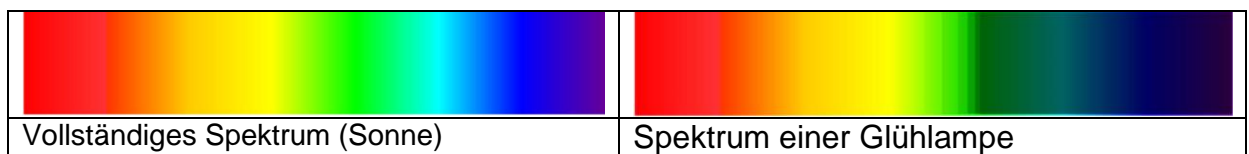


ARBEITSBLATT

Spektrum einer Glühlampe mit einem Dimmer (2)

- Regele die Helligkeit der Glühlampe mit dem Dimmer
- Betrachte das Licht durch das davor aufgestellte Spektroskop
- Übermale mit einem **Bleistift** die Bereiche des Spektrums die du nicht oder nur schwach siehst.

Beispiel:



Versuche die "Lichtfarbe" der Glühlampe mit Farbstiften zu treffen!



Du kannst die Glühlampen oben auch entsprechend anfärben!

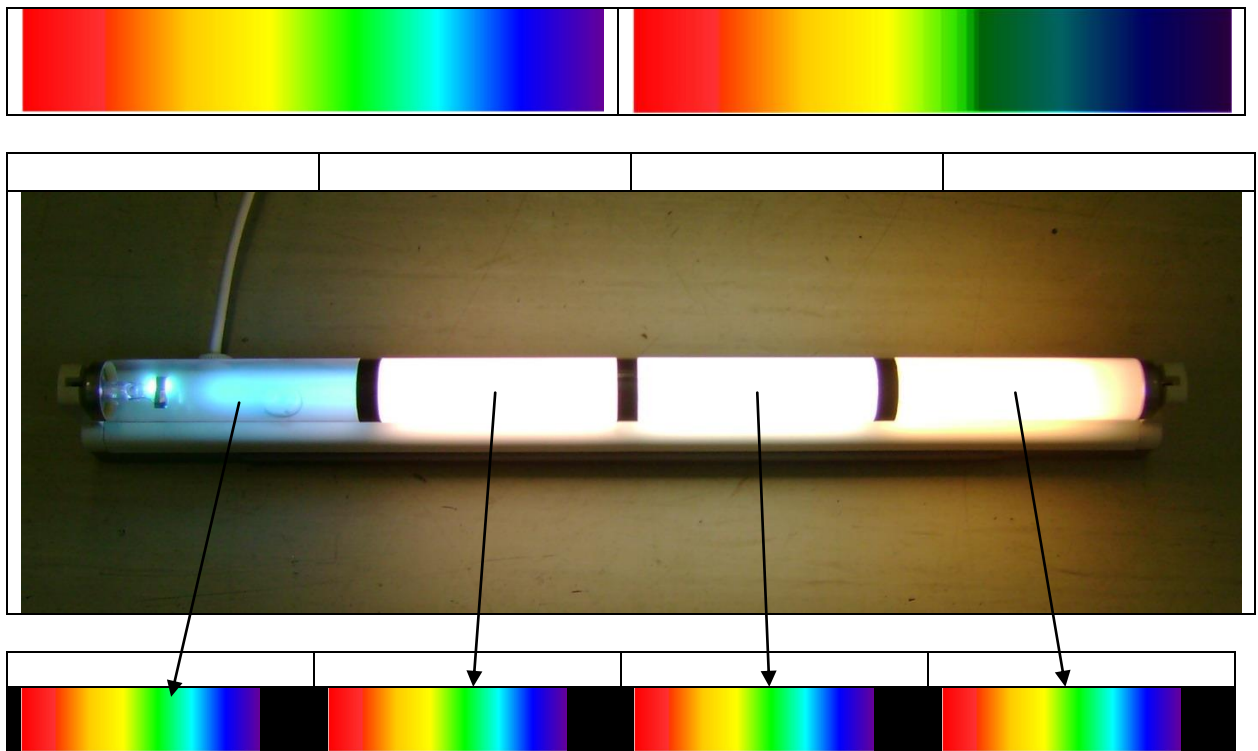
ARBEITSBLATT

Eine Leuchtstoffröhre mit "warmem" und "kaltem" Licht

Die Leuchtstoffröhre ist in vier Abschnitte aufgeteilt.
Der erste Teil der Glasröhre ist nicht, die drei anderen mit unterschiedlichen Leuchtstoffen ausgekleidet.

- Betrachte die vier Abschnitte der Leuchtstoffröhre nacheinander durch die vier davor aufgestellten Spektroskope.
- Übermale mit einem **Bleistift** die Bereiche des Spektrums die du nicht oder nur schwach siehst.
- Achte auf die **farbigen Linien** und hebe sie in der Zeichnung hervor!

Beispiel:



Versuche die "Lichtfarbe" jedes Abschnitts mit **Farbstiften** zu treffen!

--	--	--	--

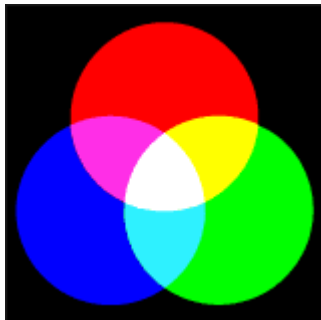
Farbwiedergabe bei unterschiedlicher Beleuchtung

Welche Farbe hat ein T-Shirt? Keine! So, wie alle Dinge keine Farbe "haben". In der Dunkelheit sind sie schwarz wie die Nacht und damit unsichtbar. Erst am Tag oder wenn wir das Licht anmachen "haben" Dinge "Farbe". Aber Achtung: Ohne uns Sehende hätten sie auch am Tage keine Farbe! Die Farben der Dinge sind nämlich keine ihnen innewohnenden Eigenschaften. Ihnen ist nur eigen, elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlängen zu verschlucken (absorbieren) und mit anderer Wellenlänge abzustrahlen oder von vornherein zurückzuwerfen (reflektieren). Das geschieht auch ohne uns Sehende. Wir nehmen die reflektierte Strahlung auf und verarbeiten sie zu, den Wellenlängen entsprechenden Farbeindrücken. Das "blaue" T-Shirt *ist* nicht blau, es wird von uns als "blau" *wahrgenommen*. Und das nur im Licht.

Der vom T-Shirt reflektierte Anteil des weißen Sonnenlichts besteht weder aus "blauen" Wellen noch aus "blauen" Photonen. Die reflektierten Wellen bzw. Photonen "haben" bestimmte Wellenlängen bzw. Energie, werden aber erst durch unser Farbsehvermögen "blau".

Licht und Farbe: Additive Farbmischung

Das Schul-LAB hat seit vielen Jahren das Thema "Licht und Farbe" im Angebot. Unter vielen anderen Experimenten gibt es solche zur additiven Farbmischung: In einer Lernstation werden drei Strahler, ein roter, ein grüner und ein blauer (RGB) sind auf eine Oberfläche gerichtet, dass ihre Lichtkegel ein "Kleeblatt" bilden und sich in der Mitte überschneiden.



Additive Farbmischung RGB:
Im Überschneidungsbereich
entsteht Weiß bzw. Gelb, Cyan
und Magenta

Die Oberfläche habe die die Eigenschaft, alle drei Farben vollständig zu absorbieren. Dann ist die Fläche schwarz und wird unter den Strahlern warm.

Hat die Fläche die Eigenschaft, rotes, grünes und blaues Licht vollständig zurückzuwerfen, erscheint sie dort, wo sich das Licht aller drei Leuchten überschneidet, weiß. Diese Fläche wird nicht wärmer werden.

Hat die Fläche die Eigenschaft, das rote und grüne Licht zu absorbieren und das blaue zu reflektieren sehen wir nur einen blauen Kreis. Absorbiert sie dagegen nur rotes Licht wird grünes und blaues Licht reflektiert. Der Überschneidungsbereich hat dann die Farbe Cyan, umgangssprachlich mehr oder weniger treffend Türkis.

Die "Farbe" eines Stoffes ist also zum einen abhängig von den Absorptions- und Reflexionseigenschaften der Farbpigmente. Zum anderen hängt sie von der spektralen Zusammensetzung der Lichtquelle ab. Schalten wir das blaue Licht aus wird das rote und grüne Licht auf einer "weißen", alle Farben reflektierenden Fläche gelbe Töne erzeugen.

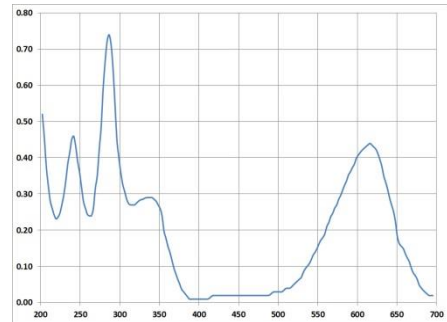
Zwischen dem Tageslicht, Glühlampen, Halogenleuchten, Energiesparleuchten und LED-Strahlern gibt es in Bezug auf das abgestrahlte Spektrum große Unterschiede. Diese müssen sich mehr oder weniger stark darauf auswirken in welchen Farben wir von ihnen beleuchtete Objekte sehen.

Absorptions- und Reflexionsverlauf von Farbpigmenten und spektrale Zusammensetzung des Lichts

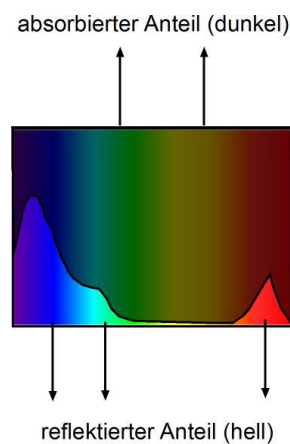
Abbildung rechts:

(Re)Emissionsspektrum von Indigokarmin, eines in erster Linie bei der Herstellung von Blue Jeans eingesetzten pflanzlichen Farbstoffes. Die Kurve zeigt mehrere Spitzen im kurzwelligen Bereich (UV, violett, blau) zwischen 200 und 350 Nanometern (nm), des Weiteren eine Spitze im langwelligen Bereich zwischen 500 und 700 nm (gelb bis rot). Die dazwischen liegenden Abschnitte werden absorbiert.

Abbildung: wwwchem.uwimona.edu.jm



Nehmen wir einmal an, das T-Shirt wurde mit einem Pigment eingefärbt das dieses Reflexions- bzw. Absorptionsverhalten zeigt:



Das Pigment reflektiert vor allem Wellenlängen im kurzwelligen, violetten, blauen und blaugrünen Bereich. Eine zweite Spitze liegt im langwelligen, dunkelroten Teil des Spektrums.

Das Intensitätsmaximum der Reflexion liegt im Blauen. Die dazwischen liegenden Abschnitte werden absorbiert und in Wärmeschwingungen verwandelt.

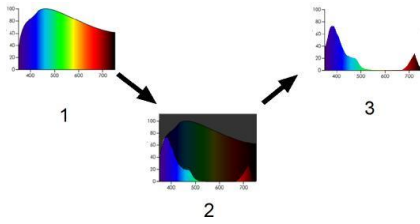
Das Pigment, und damit das T-Shirt, erscheint uns Blau mit einem kleinen Stich ins Rote.

Wie zur Bestätigung, dass kein Ding eine Farbe "hat", werden wir leicht feststellen, dass eine bestimmte Farbe unter anderem Licht ganz anders aussehen kann! Ein Steak kann im Licht der Fleischtheke viel appetitlicher aussehen als später in der Küche! Das gilt auch für Angebote im "Rotlichtviertel"! Ein besonders auffälliges Beispiel für geringe "Farbtreue": In der Nacht sind farbige Gegenstände, die von gelben, zur Energieeinsparung eingesetzten monochromatischen, d.h. nur eine Wellenlänge aussendende Natrium-Dampf lampen nur noch als Abstufungen von Gelbgrau zu unterscheiden.

Jeder wird schon die Erfahrung gemacht haben, dass ein im Kaufhaus unter Kunstlicht ausgestelltes Textil uns in einer anderen Farbe gegenübertritt als im Tageslicht. Ein im Licht der Glühlampe "schwarzes" T-Shirt kann im Sonnenlicht "blau" sein. Ist es nun schwarz? Oder blau?

Und was geschieht mit dem blauen (schwarzen?) T-Shirt im Licht einer Energiesparleuchte?

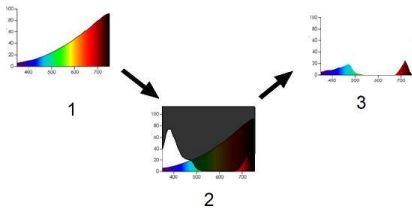
Die folgende, grob vereinfachende Darstellung zeigt, wie sich das Absorptions- und Reflexionsverhalten des oben angeführten "blauen" Pigments im Licht verschiedener Strahlungsquellen auswirkt.



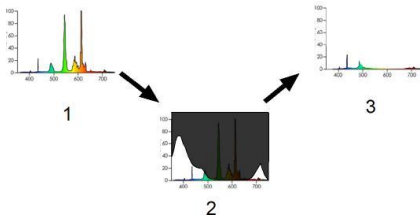
Sonnenlicht mit hohem Blauanteil (1) fällt auf eine pigmentierte Fläche (2) die die Eigenschaft hat, gelbes, oranges und hellrotes Licht zu absorbieren, blaues, grünes und dunkelrotes Licht aber zu reflektieren. Das im Sonnenspektrum stark vorhandene blaue Licht wird vom Pigment besonders stark reflektiert (siehe Absorptionskurve).

Ins Auge (3) fällt blaues und etwas grünes Licht mit hoher Intensität.

Die Fläche erscheint uns blau mit leichtem Grünstich.



Das Licht einer Glühlampe mit geringem Blauanteil (1) fällt auf die gleiche pigmentierte Fläche (2). Die Glühlampe strahlt aber nur wenig Blau ab. Das im Blauen hohe Reflexionsvermögen des Pigments wird nicht genutzt. Ins Auge (3) fällt wenig blaues und noch weniger grünes Licht. Der größte Teil des auf die Fläche fallenden Spektrums wird absorbiert. Sie erscheint uns daher nahezu schwarz.



Das Licht einer Energiesparleuchte mit Linienspektrum (1) fällt auf die gleiche pigmentierte Fläche (2). Die Energiesparleuchte strahlt nur wenig Blau ab. Das im Blauen hohe Reflexionsvermögen des Pigments wird nicht genutzt. Die starken Banden im grünen, gelben und roten Bereich werden vollständig absorbiert. Ins Auge (3) fällt wenig blaues, grünes und dunkelrotes Licht. Der größte Teil des auf die Fläche fallenden Spektrums wird absorbiert. Sie erscheint uns daher nahezu schwarz.

Diese, hier vereinfacht dargestellten Zusammenhänge lassen sich mit dem Spektroskop überprüfen. Dazu genügt es, z.B. eine entsprechend gefärbte Fläche mit unterschiedlichen Leuchten zu bestrahlen und das zurückgeworfene Licht zu beobachten.

Dabei gilt zunächst der Grundsatz: Es können nur die Farben (Wellenlängen!) zurückgeworfen werden die im Spektrum der Lichtquelle enthalten sind. Und in den meisten Fällen, es sei die Fläche "ist" weiß, sind es eher weniger Farben. Nicht berücksichtigt bei dieser Überlegung ist das Phänomen der Fluoreszenz bei der z.B. unsichtbare UV-Strahlung absorbiert und in Strahlung längerer Wellenlänge (z.B. grün) verwandelt wird. Nach diesem Prinzip funktionieren viele "Leuchtfarben", z.B. bei neongelben Pannenwesten.

Farbtemperatur des Strahlers und Farbwiedergabe

Die Farben einer Landschaft erscheinen im Licht der hoch am Himmel stehenden Sonne ganz anders als bei ihrem Auf- oder Untergang. Im ersten Fall ist der Weg der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre relativ kurz was zu zur Streuung von violetten und blauen Spektralanteilen führt. Deshalb ist der Himmel blau. Mit sinkender Sonnenhöhe wächst dieser Weg. Zunehmend wird auch grünes, gelbes und schließlich auch rotes Licht gestreut. Der Himmel wird vielfarbig und die Sonne, ihrer meisten Farben "beraubt" tiefrot. Das Licht und die beleuchteten Objekte erscheinen uns "wärmer".

Auf die gleiche Weise schafft auch eine Glühlampe mit heruntergeregeltem Dimmer eine warme, "gemütliche" Atmosphäre. Weiße Wände und Möbel sind in ein gelbliches, rötliches Licht getaucht.

Eine heruntergedimmte Glühlampe die in ihrem Spektrum keine blauen und violetten Spektralanteile mehr hat - wird keine Flächen mehr weiß leuchten lassen können. Nebenbei bemerkt: "Das strahlendste Weiß Ihres Lebens" das uns die Waschmittelhersteller versprechen entsteht durch optische Aufheller, Pigmente die unsichtbares UV-Licht in sichtbares und kräftiges Blau umwandeln. Das so verstärkte Blau ergibt mit dem Rest des Spektrums "strahlendes" Weiß...

Farbwiedergabeindex

In der Technik werden die Leuchten einem Farbwiedergabeindex (R_a oder Colour rendering index, CRI) zugeordnet oder in eine Farbqualitätsskala (colour quality scale, CQS) eingestuft.

So hat eine Glühlampe einen Farbwiedergabeindex von etwa 100, eine Leuchtstofflampe nur 50 - 90. Die Messung des Farbwiedergabeindex erfolgt photometrisch auf der Basis von genormten Referenzfarben.

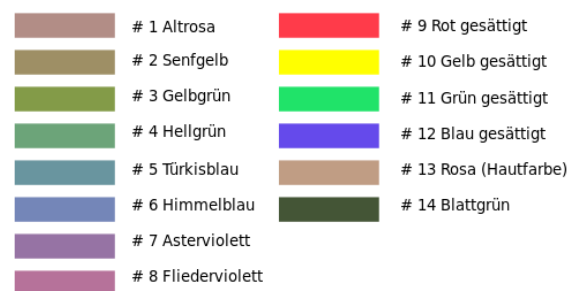
Farbwiedergabeindex verschiedener Leuchten

	Index R_a
Glühlampe	bis 100
LED, weiß	80...95
Leuchtstofflampe	50...90
Leuchtstofflampe, weiß	70...84
Leuchtstofflampe, weiß de Luxe	85...100
Natriumdampf-Hochdrucklampe, Standard	18...30

Dem CRI oder R_a -Test liegt eine genormte Farbskala zu Grunde:

Abbildung: Wikipedia

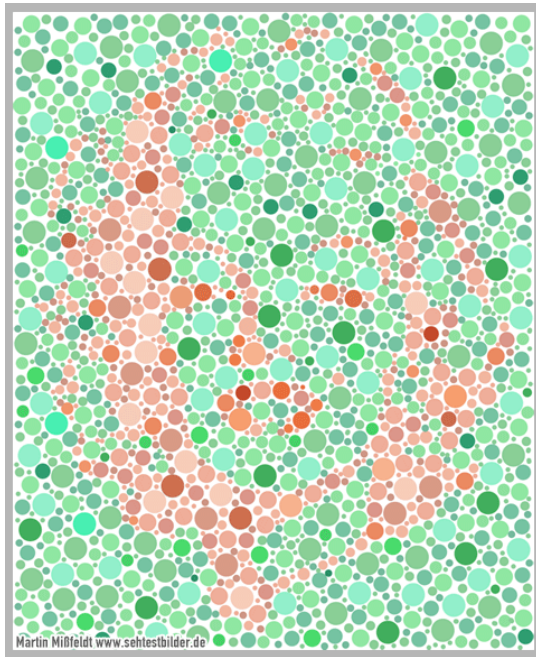
Die 14 Testfarben nach DIN 6169



Diese Farbskala ist auch die Grundlage des Arbeitsblattes "Wie viele Farben kannst du hier unterscheiden". Die 32 Felder enthalten die 14 Testfarben nach DIN 6169. Zur Ermittlung des Farbwiedergabeindex werden Oberflächen mit diesen Farben mit Lichtquellen gleicher Farbtemperatur und gleichem Lichtstrom bestrahlt. Dann wird gemessen, wie viel Licht die einzelnen Farben absorbieren bzw. reflektieren (Remissionsverlauf).

Die technischen Voraussetzungen für dieses Verfahren ist in der Schule nicht gegeben, die Messungen selbst zu aufwändig und die Einstufung zu kompliziert. Daher müssen wir uns mit einem subjektiven, nur unsere Augen als "Messgerät" nutzenden Vergleich begnügen.

Wer ist das?



Augenärzte überprüfen das Farbumterscheidungsvermögen und Kontrastsehen ihrer Patienten mit solchen oder ähnlichen Tests. Wer in der Abbildung Marilyn Monroe erkennt, ist zum einen noch in den 60igern beheimatet und zum anderen nicht Rot-Grün-Blind.

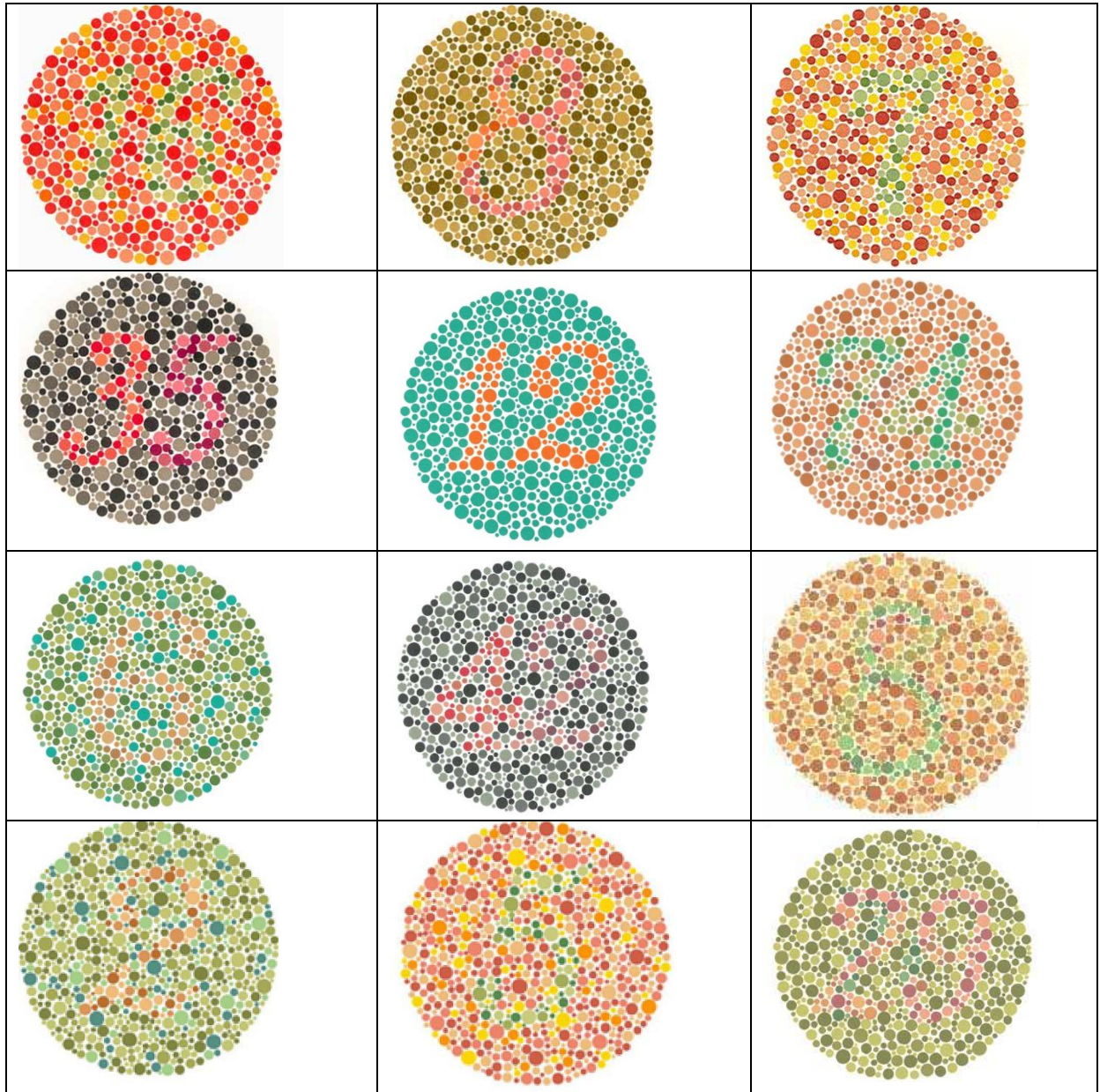
Wir haben die einschlägigen, in der Augenheilkunde gebräuchlichen Tests (Ishihara, Vehhagen) zum Test der Farbwiedergabe von Leuchten umgemünzt. Ausgehend davon, dass der Schüler bei Tageslicht Farben und Farbnuancen uneingeschränkt sehen und unterscheiden kann, lassen wir sie das Experiment im Licht unterschiedlicher Leuchten wiederholen.

In einem zweiten Test kann man testen, in wie weit man die zur Ermittlung des Farbwiedergabeindex gebräuchlichen 14 Testfarben bei unterschiedlicher Beleuchtung unterscheiden kann.

ARBEITSBLATT

Wie ist die Summe dieser 12 Zahlen?

Mache den Test bei **Tageslicht**, unter einer **Glühlampe**, einer **Halogenleuchte**, einer **Energiesparleuchte** und unter einem **LED-Strahler**.



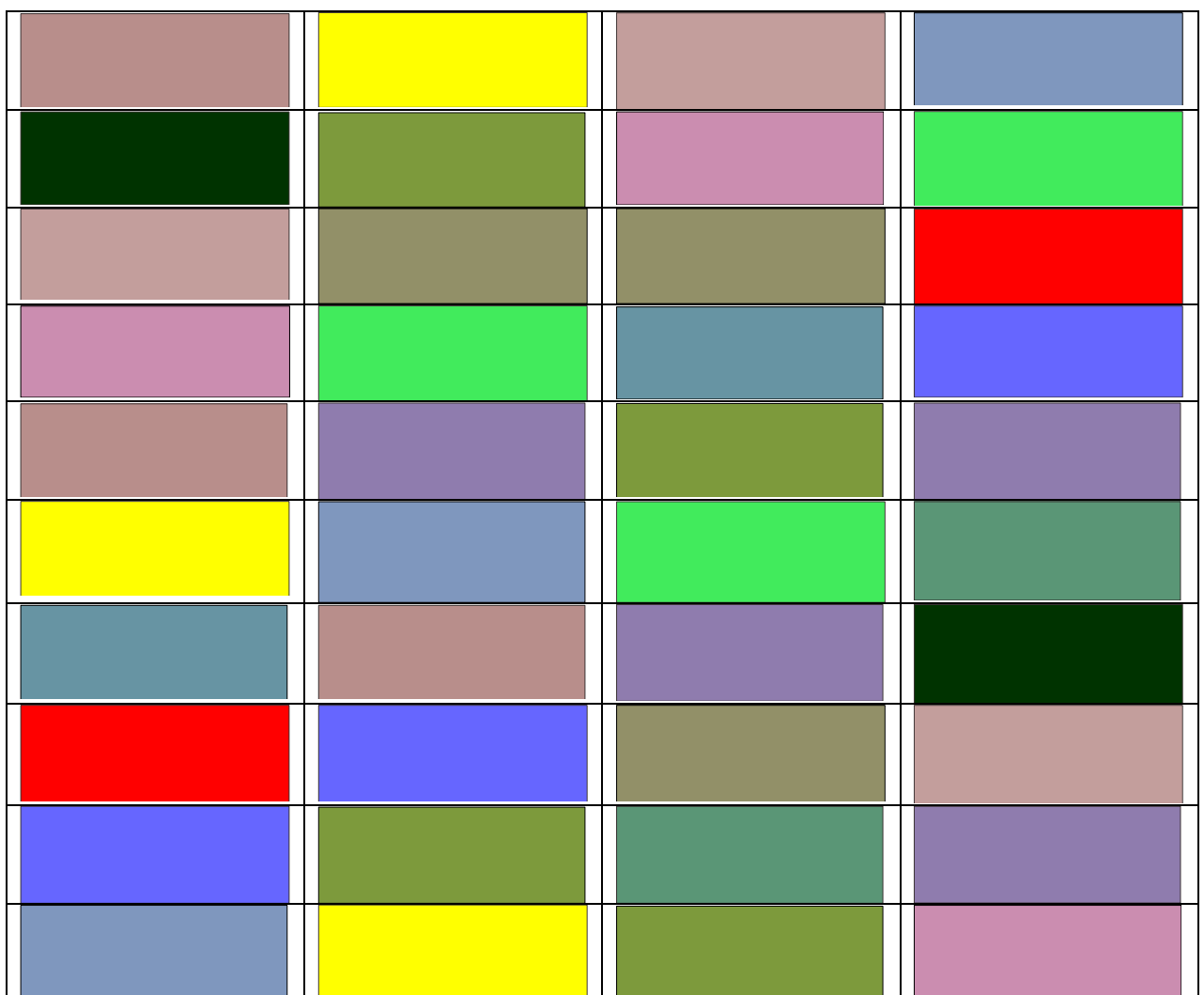
Lösung: $16 + 8 + 7 + 35 + 12 + 74 + 6 + 42 + 8 + 2 + 5 + 29 = 244$

ARBEITSBLATT

Wie viele Farben kannst du hier unterscheiden?

Mache den Test bei

- Tageslicht
- unter einer Glühlampe
- einer Halogenleuchte
- einer Energiesparleuchte und
- unter einem LED-Strahler



Lösung: (14)

Leistung: Gleiches Licht für viel oder wenig Geld?

Was kostet elektrisches Licht eigentlich? Was spart "Licht aus!" ein?
Und was spart man mit "Energiesparleuchten"?

Elektrische Arbeit wird in Wattstunden (Wh) gemessen und berechnet. Der Stromzähler zählt die im Haushalt verbrauchten Kilowattstunden (KWh). Bei Kleinverbrauchern (also "Normalbürgern") wird nur die Wirkleistung in Rechnung gestellt nicht aber die vom Typ der Leuchte abhängige und zwischen Kraftwerk und Verbraucher nutzlos hin und herpendelnde Blindleistung. Zur Blindleistung später mehr.

Eine Kilowattstunde (KWh) kostet in Deutschland etwa 0,25€ mit steigender Tendenz.

Eine 100 Watt Glühlampe verbraucht pro Stunde 100 Wattstunden (0,1 kWh). Nach 10 Stunden hat sie die 1 Kilowattstunden-Marke erreicht und hat uns um 25 Cent "ärmer" gemacht.

Eine gleich hell empfundene 25W-Energiesparleuchte schlägt nur mit einem Viertel der elektrischen Betriebskosten zu Buche. Sie leuchtet zum gleichen Preis 40 Stunden lang.

Bei "Deutschland sucht das Superlicht" haben wir die mit den Fingern gefühlte Wärme als indirektes Maß für die von Leuchten umgesetzte Leistung genommen.

Objektivere Daten liefert uns das im Teil 1 des LMV-Sets eingebaute Messgerät. Der Stromverbrauch lässt sich auf zwei Arten ermitteln:

- Durch Ablesen der Wirkleistung in Watt (W) und Multiplikation mit der Zeit (Stunde). Beispiel $40 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 40 \text{ Wh}$.
Die Wirkleistung schwankt um i. d. R. kleine Beträge. Bei Energiesparleuchten steigt sie vom Zeitpunkt des Einschaltens noch eine Weile an.
Durch Drücken des schwarzen MAX/MIN/AVG Schalters kann laufend der Maximal- Minimal und Durchschnittswert (AVG, "average") ermittelt werden.
- Durch Mitlaufenlassen des "Stromzählers". Dazu drücken Sie den MODE-Schalter bis in der ersten Zeile "Wh" erscheint. In der zweiten und dritten Zeile erscheint jeweils unter "h" die seit dem Einschalten des Gerätes (REC) bzw. die seit Einschalten einer oder mehrerer Leuchten verstrichene Zeit.
Durch langes Drücken auf den MODE-Schalter löschen Sie den Speicher und setzen den Zähler auf null zurück.

Mit $1 \text{ Wh} = 0,001 \text{ kWh}$ und $1 \text{ kWh} = 0,25\text{€}$ lassen sich die Kosten schnell ermitteln.




ARBEITSBLATT

Viel Licht für wenig Geld?




- Miss die Leistung der 9 Leuchten in Watt (W)
- Miss jeweils 2 Minuten lang ihren Stromverbrauch (Wattstunden, Wh)
- Bestimme den Stromverbrauch pro Stunde (kWh)
- Berechne die Stromkosten pro Stunde (0,25€ / kWh)
- Wie lange können die Lampen mit 1kWh leuchten?
- Erstelle eine "Hitparade" der Stromsparer.

Ranking nach Stromverbrauch und Betriebskosten

Leuchten 1 - 3

Leuchte	#	Leistung (Watt)	Stromverbrauch Kilowatt / Stunde kWh	Stromkosten / Stunde € / h	Leuchtdauer / Kilowattstunde h / kWh	Platz
		W	1 Wh = 0,001 kWh			
	1 min	13,5				
	1 max	38,25				
	2	10,10				
	3	10,26				

Leuchten 4 - 9

	4	29,35				
	5	5,58				
	6	34,58				
	7	7,30				
	8	32,40				
	9	8,16				

And the winner is...

Gold: _____

Silber: _____

Bronze: _____




ARBEITSBLATT

Wie viele "Candela" erhalte ich pro Watt?







- Miss die Leistung der 9 Leuchten in Watt (W)
- Miss die Beleuchtungsstärke der Leuchten im Abstand von 1 m
- In 1 m Distanz gilt: Beleuchtungsstärke in Lux = Lichtstärke in Candela
- Erstelle eine "Hitparade" der Stromsparer.

Ranking nach Leistung und Lichtstärke

Leuchten 1 - 3

Leuchte	#	Leistung (Watt)	Lichtstärke (Candela)	Quotient Candela / Watt		Platz
		W	cd	cd / W		
	1 min					
	1 max					
	2					
	3					

Leuchten 4 - 9

	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					

And the winner is...

Gold: _____

Silber: _____

Bronze: _____

ARBEITSBLATT

Welche Leuchte passt in welche Effizienzklasse?

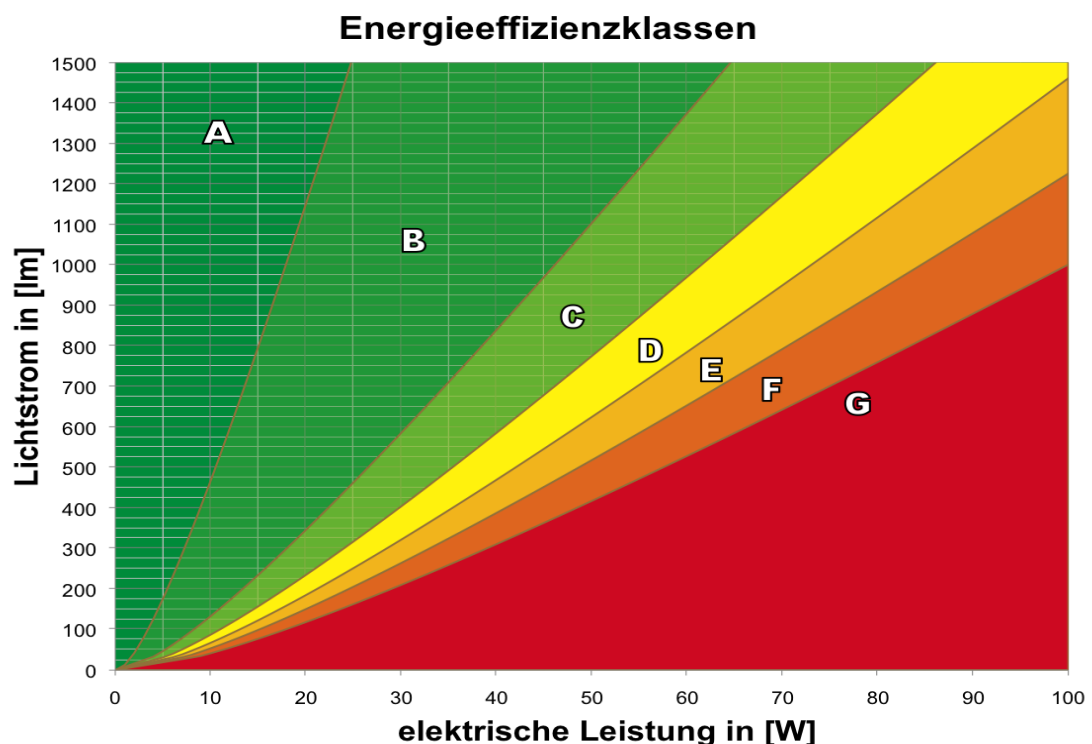
- Miss die (entfernungsabhängige) **Beleuchtungsstärke** der Leuchten mit dem Luxmeter
- Bestimme den (entfernungsunabhängigen) **Lichtstrom** (Lumen) der Leuchten nach der Formel

$$\text{Lichtstrom} = \text{Beleuchtungsstärke} \times 4\pi \times \text{Distanz}^2$$

$$\Phi_{V(\text{lm})} = E_{V(\text{lx})} \times 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

(Lumen = Lux \times 4 \times π \times Quadrat der Entfernung in Metern)

- Miss die von der Leuchte aufgenommene Leistung (P in Watt)
- Setze das den Lichtstrom und die Leistung ins Verhältnis und ordne die Leuchten ihren jeweiligen Energieeffizienzklassen zu.



Grafik: WIKIPEDIA

ARBEITSBLATT

Wann kostet Licht pro Leuchte und Jahr?







- Trage den Quotienten Lichtstärke / Leistung (Candela / Watt) ein
- Ermittle die Stromkosten pro Jahr (365 d x 6 h)
- Ermittle den Anschaffungspreis (Liste)
- Erstelle eine "Hitparade" der Stromsparer.

Ranking nach Leistung und Lichtstärke

Leuchten 1 - 3

Leuchte	#	Quotient Lichtstärke / Leistung cd / W	Stromkosten / Jahr (6 Stunden / d) € / a	Kaufpreis €	Gesamtkosten €	Platz
	1 min					
	1 max					
	2					
	3					

Leuchten 4 - 9

	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					

And the winner is...

Gold: _____

Silber: _____

Bronze: _____

Stimmt der Energieverbrauch mit den aufgedruckten Werten überein?

Wirk-, Schein- und Blindleistung

Mit Hilfe des eingebauten Digital-Displays lassen sich die Herstellerangaben zum Energieverbrauch überprüfen. Dazu reicht die Angabe in der ersten Zeile, die Leistung in Watt (W). Diese sogenannte **Wirkleistung** ist die Leistung die in der Leuchte umgesetzt wird. Nur die Wirkleistung erscheint auf dem Zähler und nur dafür muss der (normale) Kunde bezahlen.

Für ein einfaches und verbrauchskostenorientiertes Ranking reicht der Vergleich in Angaben in Watt völlig aus.

Die beiden anderen Zeilen zeigen die **Scheinleistung** in VA und die **Blindleistung** in VAR an.

Mit diesen beiden Begriffen werden nur die wenigsten etwas anzufangen wissen, erscheinen sie doch weder auf dem Zähler noch auf der Stromrechnung.

Es ist aber - besonders im Hinblick auf das Energiesparpotential von Leuchten - von Interesse zu wissen, dass für viele Elektrogeräte eine über die Wirkleistung weit hinausgehende Scheinleistung bereitgestellt werden muss und dass Blindleistung ungenutzt zum Erzeuger zurückfließt.

Was heißt "Leistung" und was Wirk-, Schein- und Blindleistung?

Leistung

Eine Leuchte "verbraucht" Energie, die eine mehr, die andere weniger. Was umgangssprachlich "verbrauchen" heißt muss physikalisch "umsetzen" genannt werden.

Denn Energie geht nicht verloren. Der "Strom" (die elektrische Energie) wird in der Leuchte in thermische (Wärmeschwingungen) und Strahlungsenergie (Licht, Wärmestrahlung) umgewandelt.

Elektrischer Strom hat zwei Komponenten, **Spannung** (U in Volt) und **Strom** (I in Ampere). Das Produkt aus Spannung U und Strom I ist die elektrische Leistung (P):

$$P = U \times I$$

Bei **Gleichstrom** fließen die elektrischen Ladungsträger stets in eine Richtung, vom Minuspol zum Pluspol (physikalische Stromrichtung!).

Bei **Wechselstrom** fließen die Elektronen im Takt von 50 Hertz (Hz) zwischen den die Vorzeichen wechselnden Polen hin und her. Das bedeutet: Spannung und Strom schwingen 50mal pro Sekunde zwischen einem positiven zum negativen Spitzenwert. Spannung und Strom sind also nicht konstant!

Im Idealfall sind der Spannungs- und Stromverlauf gleichphasig, also nicht gegeneinander verschoben. Erreicht die Spannung einen "Berg" bzw. ein "Tal" gilt das auch für den Strom. Erreicht die Spannung 0V ist auch der Strom 0A.

Die Leistung ist auch bei Wechselstrom das Produkt aus den sich zeitlich (sinusförmig) veränderten Spannungs- und Stromwerten. Sie ändert sich ständig, bleibt aber stets positiv: Sowohl in den positiven als auch in den negativen

Halbwellen ist $P = U \times I$ positiv ($+U \times +I = +P$ und $-U \times -I = +P$). Nur in den Nulldurchgängen von Spannung und Strom ist auch die Leistung Null.

Die Leistung schwingt oberhalb der Nulllinie mit doppelter Frequenz. Im Verlauf einer Schwingungsperiode (U, I) erreicht die Leistung also zwei Spitzen.

Die effektive Leistung ergibt sich aus den zeitlich sich verändernden Werten der Spannung und des Stroms und beträgt das $1/\sqrt{2}$ fache der Scheitelwerte. Die Wurzel aus 2 ist 1,414...

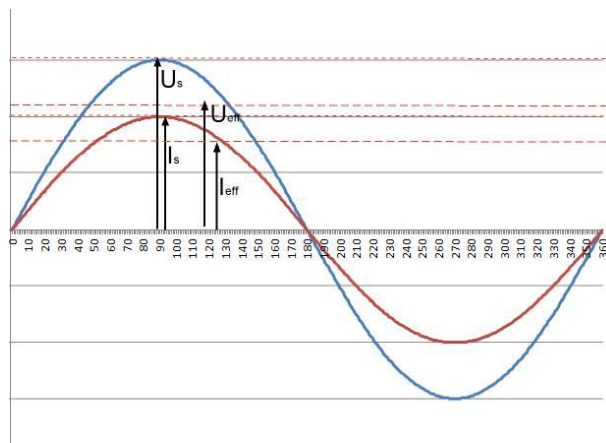
Einer Scheitelspannung $U_s = 325,27$ Volt entspricht einer über die Zeit gemittelten effektiven Spannung von $U_{\text{eff}} = 230$ V.

$$U_s \ 325,27 \text{ V} / 1,414 = U_{\text{eff}} \ 230 \text{ V}$$

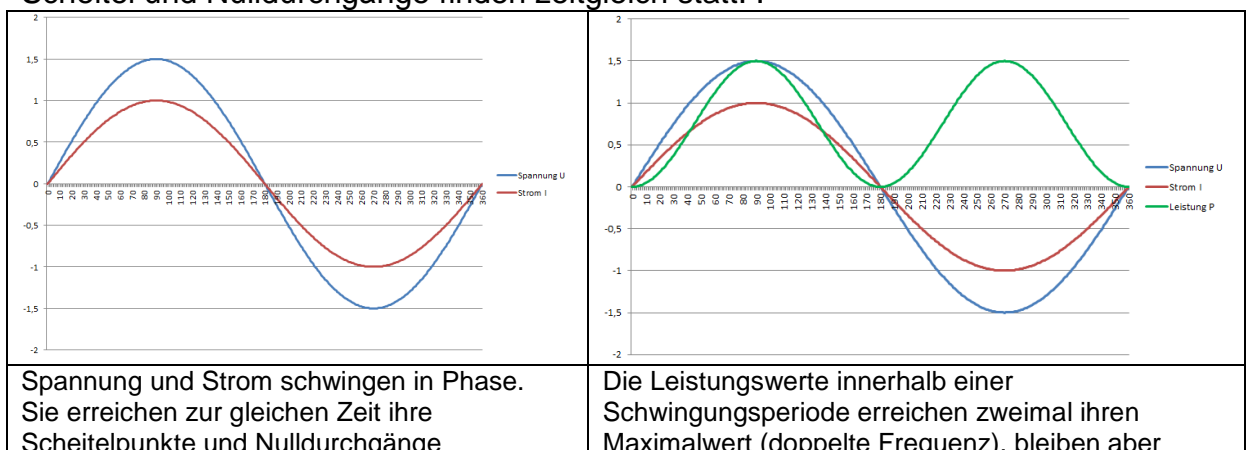
Einem Scheitelstrom $I_s = 0,615$ Ampere entspricht einer über die Zeit gemittelten effektiven Stromstärke von $I_{\text{eff}} = 0,435$ Ampere.

$$I_s \ 0,615 \text{ A} / 1,414 = I_{\text{eff}} \ 0,435 \text{ A}$$

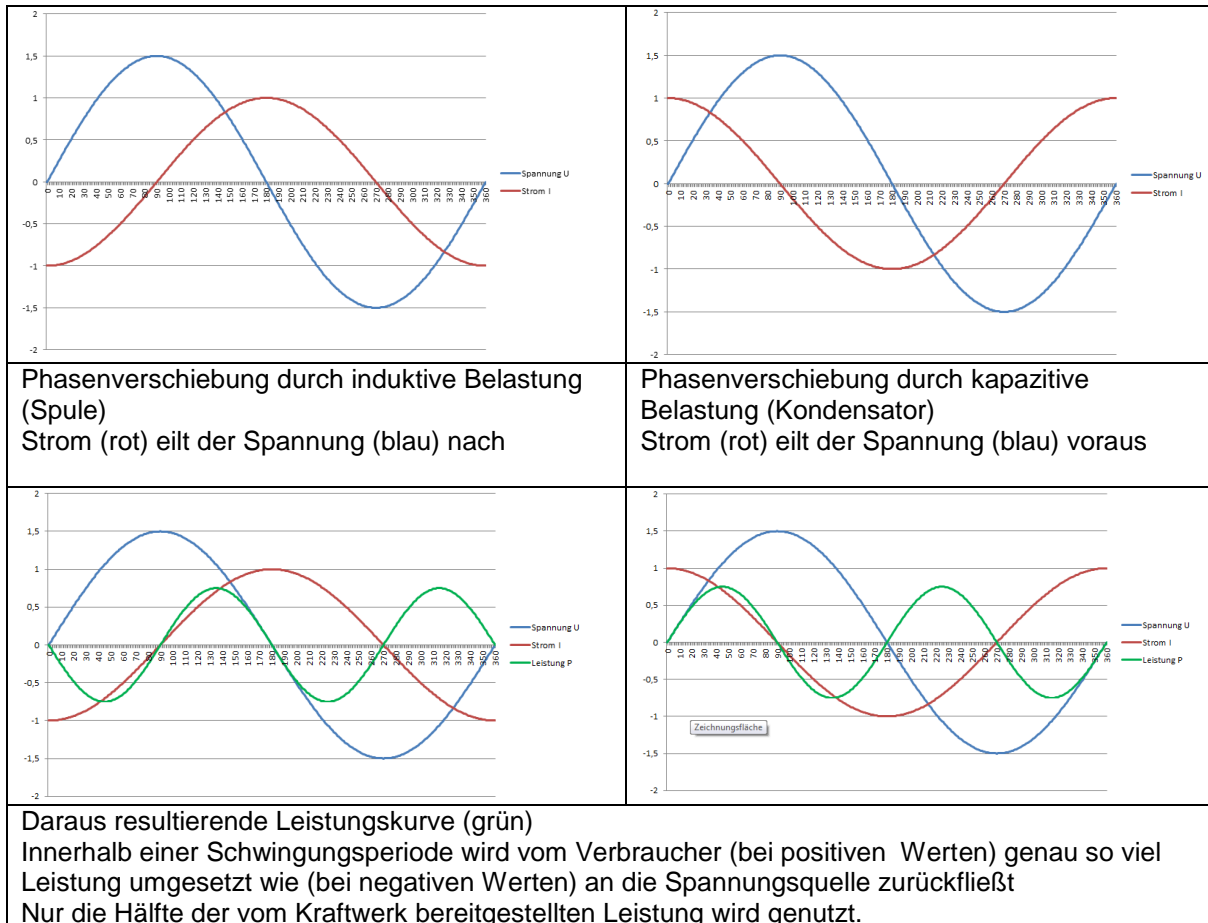
$$\text{Daraus folgt: } P_{\text{eff}} = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} = 230 \text{ V} \times 0,435 \text{ A} = 100 \text{ W}$$



Bei mit Wechselspannung betriebenen **ohmschen** Verbrauchern, also solchen **ohne** Kondensatoren und Spulen bleiben Spannungs- und Stromverlauf gleichphasig. Ihre Scheitel und Nulldurchgänge finden zeitgleich statt. .



Bei mit Wechselspannung betriebenen **nichtohmschen** Verbrauchern, also solchen mit Kondensatoren und Spulen wird das Auf und Ab des Stroms um einen bestimmten Betrag gegen die Spannungskurve verschoben. Die Schwingungsdauer (Periode) verändert sich dabei nicht. Schwingt die Spannung um 50 Hz (50mal pro Sekunde) schwingt auch der Strom - nur verschoben - um 50 Hz.



In beiden Fällen sinkt die Wirkleistung P um einen vom Phasenwinkel φ (phi) abhängigen Betrag. Nur wenn Spannung und Strom gleichzeitig positiv bzw. negativ sind wird **Wirkleistung** übertragen. Tragen Spannung und Strom aber umgekehrte Vorzeichen ist die Leistung negativ. Man spricht dann von **Blindleistung** (Q). Die Leistung schwankt bei einer Phasenverschiebung von Spannung und Strom entlang der Zeitachse zwischen positiven und negativen Werten. Im ersten Fall nimmt der Verbraucher Wirkleistung auf, im zweiten Fall wird die Blindleistung ungenutzt zur Spannungsquelle (Kraftwerk) zurückgeschickt. Im Extremfall eilt der Strom der Spannung um $\varphi 90^\circ$ vor bzw. um $\varphi 90^\circ$ nach. Dann ist die Leistung genauso lange positiv wie negativ und die effektive, über die Zeit gemittelte Leistung $P = U \times I = 0$.

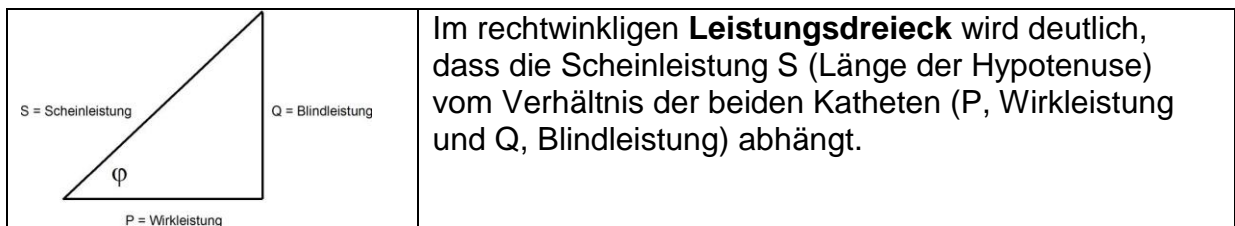
Sowohl die nutzbare Wirkleistung P als auch die nutzlose Blindleistung Q müssen von Kraftwerken erzeugt und bereitgestellt werden. Diese Leistung wird als Scheinleistung bezeichnet.

Nur der Wirkanteil der Leistung, die **Wirkleistung** P lässt sich tatsächlich nutzen. Bei ohmschen Verbrauchern, z.B. einer Glühlampe ist die Wirkleistung das Produkt aus $P = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}$.

Energiesparleuchten (Leuchtstoffröhren, Kompaktleuchtstofflampen) und LED-Leuchten enthalten elektronische als Induktivitäten bezeichnete Trafos und Drosseln und Kapazitäten in Form von Kondensatoren.

Beim Anschluss an Wechselspannungsquellen wird der Spannungs- und Stromverlauf um einen für das Gerät typischen Phasenwinkel φ (phi) verschoben. Die Phasenverschiebung lässt sich durch zusätzliche Beschaltung mit Kapazitäten bzw. Induktivitäten kompensieren. Da dem (Klein)Verbraucher Blindleistungsanteile nicht direkt in Rechnung gestellt werden wird darauf meistens verzichtet. Das gilt besonders bei Billiggeräten mit einfachen Schaltnetzteilen und Vorschaltgeräten. Phasenverschiebungen und Verzerrungen der Sinusförmigen Wechselstroms führen, für die meisten unbekannt, zu einer Belastung durch elektromagnetische Wechselfelder (Elektrosmog).

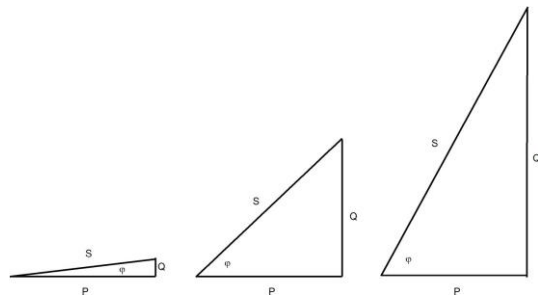
Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung im Leistungsdreieck:



P, Q und S stehen nach dem Satz des Pythagoras in folgender Beziehung:

$S^2 = P^2 + Q^2$	$P^2 = S^2 - Q^2$	$Q^2 = S^2 - P^2$
$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

Das Verhältnis P/Q drückt sich im Winkel φ aus, dem Phasenwinkel.



Bei **sinusförmigen** Spannungen und Strömen - bei Haushaltswechselstrom haben wir es nur damit zu tun - wird das Verhältnis S,P,Q durch den Wirkfaktor $\cos \varphi$ (Cosinus phi) ausgedrückt. Also dem Cosinus des Phasenwinkels. Er kann Werte zwischen 1 ($\cos 0^\circ$) und 0 ($\cos 90^\circ$) annehmen. Je kleiner der Winkel φ und je näher sich $\cos \varphi$ dem Wert 1 nähert desto mehr gleichen sich Wirkleistung P und Scheinleistung S und desto geringer ist der Blindleistungsanteil Q.

Formeln:

Scheinleistung	S	VA	$S = U \times I$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
Wirkleistung	P	W	$P = U \times I \times \cos \varphi =$ $S \times \cos \varphi$	$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$
Blindleistung	Q	VAr	$Q = U \times I \times \sin \varphi =$ $S \times \sin \varphi$	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

Rechenbeispiele:

1)

Ist der Phasenwinkel 0 und $\cos \varphi = 1$

ist die Wirkleistung P gleich der Scheinleistung S:

$$S = U \times I$$

$$P = U \times I \times \cos \varphi = U \times I \times 1 = S \times 1 = S$$

Die Blindleistungsanteil ist Null: $Q = U \times I \times \sin \varphi = U \times I \times 0 = 0$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1^2 + 0^2} = \sqrt{1 + 0} = 1$$

In diesem Falle vom Kraftwerk bereitgestellte Scheinleistung wird vollständig in Wirkleistung umgesetzt.

2)

Ist der Phasenwinkel 45° und $\cos \varphi$ bzw. $\sin \varphi = 0,707$

beträgt die Wirkleistung P nur 50 % der Scheinleistung S. Der Blindleistungsanteil ist 50%.

$$P = U \times I \times \cos \varphi = U \times I \times 0,707$$

$$Q = U \times I \times \sin \varphi = U \times I \times 0,707$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{0,707^2 + 0,707^2} = \sqrt{0,5 + 0,5} = 1$$

3)

Ist der Phasenwinkel 90° und $\cos \varphi = 0$

beträgt die Wirkleistung P 0 % und die Blindleistung 100% der Scheinleistung S:

$$S = U \times I$$

$$P = U \times I \times \cos \varphi = U \times I \times 0 = 0$$

$$Q = U \times I \times \sin \varphi = U \times I \times 1 = 1$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{0^2 + 1^2} = \sqrt{0 + 1} = 1$$

In diesem Fall ist die Wirkleistung P gleich Null.

Leistungsmessung mit dem Display



Das Display zeigt im Grundmodus drei Zeilen:

- Wirkleistung P in Watt (W)
- Scheinleistung in Voltampere (VA)
- Blindleistung in Voltampere reactif (VAr)

W (Watt)

Die erste Zeile zeigt die tatsächlich in Licht und Wärme umgesetzte **Wirkleistung** P in W (Watt) an.

Bei ohmschen Verbrauchern, z.B. der Glühlampe reicht es, die oberste Zeile zu notieren. Hier ist die "investierte" Leistung identisch mit der **Wirkleistung** und die Wirkleistung identisch mit der Scheinleistung (S in VA). Einfach gesagt: Der hineingesteckte Strom wird vollständig in Licht und Wärme verwandelt.

VA (Voltampere)

Die zweite Zeile gibt die **Scheinleistung** S in VA (Voltampere) wider. Sie ist das Produkt aus Spannung und Strom. Bei ohmschen Verbrauchern ist die Schein- mit der Wirkleistung identisch.

Bei nichtohmschen, durch Kondensatoren und/oder Spulen belasteten Verbrauchern wird ein mehr oder weniger großer Teil der Scheinleistung nicht in elektrische Arbeit umgesetzt. Diese Blindleistung fließt nutzlos zwischen Kraftwerk und Verbraucher hin und her. Sie erscheint zwar nicht auf dem (normalen) Stromzähler, muss aber von Kraftwerken produziert werden.

VAr

Die dritte Zeile zeigt die **Blindleistung** Q in VAr (Voltampere reactif) an.

VAr gibt die von kapazitiven oder induktiv belasteten Verbrauchern Blindleistung an.








Typische im LMV gemessene Werte:




Die vom Stromerzeuger investierte Scheinleistung (S, VA) ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke ($S = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}$).

Die Wirkleistung (P, W) ergibt sich aus $P = S \times \cos \varphi = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos \varphi$.

Bei unbekanntem Wirkfaktor gilt $\cos \varphi = P / S$.

Die Blindleistung (Q, VAr) errechnet sich entweder aus $Q = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \sin \varphi$ oder aus $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$.

Leuchte		Wirkleistung P W (Watt)	Scheinleistung S VA (Voltampere)	Blindleistung Q VAr (Voltampere reactif)	Wirkfaktor COS φ	V	A
Eigenverbrauch LMV		1,48	8,37	8,20	0,17	223,5	0,037
 Minimal	1	13,55	22,8	18,54	0,58	223,3	0,103
 Maximal	1	38,25	39,65	8,79	0,97	223,8	0,176
	2	10,10	18,84	15,77	0,52	224,2	0,086
	3	10,26	13,89	9,45	0,73	223,5	0,062
	4	29,35	30,61	8,53	0,96	223,6	0,136
	5	5,58	12,40	11,16	0,44	223,2	0,055
	6	34,58	35,46	8,45	0,97	223,2	0,159




	7	7,30	15,29	13,39	0,47	223,2	0,068
	8	32,40	34,15	10,53	0,95	222,0	0,152
	9	8,16	16,12	13,94	0,50	223,3	0,072







ARBEITSBLATT

Wie viel Strom brauchen Leuchten wirklich? (1)

- Lies vom Display für jede Leuchte die Wirk-, Schein- und Blindleistung ab
- Berechne den Wirkfaktor $\cos \varphi$ (phi) nach der Formel $\cos \varphi = P / S$
- Erstelle eine "Hitparade" nach dem Wirkleistungsanteil.
- Vergleiche die Ergebnisse mit denen von Gruppe 2

Ranking nach Verhältnis Wirk- und Blindleistung

Leuchte		Wirkleistung W (Watt)	Scheinleistung VA (Voltampere)	Blindleistung VAr (Voltampere reactif)	Wirkfaktor COS φ	Platz
 Minimal	1	13,55	22,8	18,54	0,58	
 Maximal	1	38,25	39,65	8,79	0,97	
	2	10,10	18,84	15,77	0,52	
	3	10,26	13,89	9,45	0,73	





	4	29,35	30,61	8,53	0,96	
	5	5,58	12,40	11,16	0,44	
	6	34,58	35,46	8,45	0,97	
	7	7,30	15,29	13,39	0,47	
	8	32,40	34,15	10,53	0,95	
	9	8,16	16,12	13,94	0,50	







ARBEITSBLATT

Wie viel Strom brauchen Leuchten wirklich? (2)

- Miss für jede Leuchte die Spannung U in Volt (V) und die Stromstärke I in Ampere (A). Bestimme die vom Stromerzeuger zu liefernde Scheinleistung S nach der Formel $S = U \times I$
- Lies den Wirkfaktor $\cos \varphi$ vom Display ab
- Bestimme die Wirkleistung in Watt nach der Formel $P = S \times \cos \varphi$
- Erstelle eine "Hitparade" nach dem Wirkleistungsanteil.
- Vergleiche die Ergebnisse mit denen von Gruppe 1

Ranking nach Verhältnis Wirk- und Blindleistung

Leuchte		V	A	Wirkfaktor Cosinus φ	Wirkleistung P in W (Watt)	Platz
 Minimal	1	223,3	0,103	0,58	13,55	
 Maximal	1	223,8	0,176	0,97	38,25	
	2	224,2	0,086	0,52	10,10	
	3	223,5	0,062	0,73	10,26	

	4	223,6	0,136	0,96	29,35	
	5	223,2	0,055	0,44	5,58	
	6	223,2	0,159	0,97	34,58	
	7	223,2	0,068	0,47	7,30	
	8	222,0	0,152	0,95	32,40	
	9	223,3	0,072	0,50	8,16	

ARBEITSBLATT

Wie viel Strom müssen wir für eine Leuchte erzeugen?

Mit einem **Wechselstromgenerator** und einer **Handkurbel** kannst du den Strom für eine **Glühlampe** und eine **Energiesparleuchte** erzeugen.



- Schließe zwei Multimeter an:
- Eins, um die **Spannung** U (in Volt) zu messen.
- Eins, um den **Strom** I (in Ampere) zu messen.
- Multipliziere Spannung (U) und Strom (I)
- Damit erhältst du die vom Generator erzeugte **Scheinleistung** S in VA.
- Lies die auf den Leuchten aufgedruckte **Wirkleistung** P (in Watt) ab.
- Vergleiche Scheinleistung und Wirkleistung.

	Glühlampe	Energiesparleuchte
Wirkleistung (W)		
Scheinleistung (VA)		

- Zeichne die beiden dazu passenden Leistungsdreiecke.
- Bestimme den Wirkfaktor φ und die Blindleistung Q in VAR

Beispiel:

	<ul style="list-style-type: none"> • Zeichne die Wirkleistung P als maßstabgerechte Strecke. • Zeichne die Senkrechte Q. • Nimm einen Zirkel und schlage um den Ursprung der Strecke P einen Kreis mit dem Radius der errechneten Scheinleistung VA. Benutze dabei den gleichen Maßstab wie bei der Strecke P. • Markiere den Schnittpunkt mit der Geraden Q. • Zeichne die Scheinleistung S ein. • Miss die Länge der Strecke Q. • Bestimme den Winkel φ. • Berechne den Wirkfaktor $\cos \varphi$.
--	--

Das Ergebnis im Beispiel lautet: $\varphi = 33,6^\circ$, $\cos \varphi = 0,833$, $Q = 16,6 \text{ VAr}$
 ($\cos \varphi = P/S$, $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$)

<p>Glühlampe</p>
<p>Wirkfaktor $\cos \varphi$: _____ Blindleistung Q: _____ VAr</p>

<p>Energiesparleuchte</p>
<p>Wirkfaktor $\cos \varphi$: _____ Blindleistung Q: _____ VAr</p>

"Lernstationen": Von der "Öllampe" zur "Energiesparleuchte"

Kerze / Öllampe		
Was ist ein "Lux"?	Helligkeitsmessung an Kerze und Glühlampe	
"Tranfunzel"	Öllampen selbst bauen	Wie viele Öllampen ersetzen eine Glühlampe?
Temperatur und Farbtemperatur	Spektroskopie	Dimmbare Glühlampe 12 V 25 W mit Schraubsockel, regelbarer Trafo 0 - 12 V Spektroskop in Stativhalterung
Glühlampe		
Selbstbau einer Glühlampe		Marmeladenglas mit Schraubdeckel, 2 Bohrungen mit gegen den Schraubdeckel isolierten Buchsen, Krokodilklemmen, Glühwendel aus Konstantendraht
Wirkungsgrad Glühlampe		Glühlampe 12 V, 10 W, Gleichstromquelle 0 - 12 V, Volt- und Amperemeter, Thermoskanne, Thermometer
Leuchtstoffröhre		
Kontinuierliches und Linienspektrum	Spektroskopie	Gasbrenner oder Kerze (?), Kochsalz Spektroskop in Stativhalterung
Gasentladungsleuchte	Spektroskopie	Wasserstoff-, Helium etc. Gasentladungsleuchte, Hochspannungstrafo (Sammlung)
Leuchtstoffröhre	Spektroskopie Hg-Dampflampe ohne und mit Leuchtstoffauskleidung	
"Schwarzlicht"	Fluoreszierende Stoffe, Spektroskopie	Spektralleuchte (Hg), Fluorescein, Textmarker, Spektroskop
"Schwarzlicht"	Tagesleuchtfarben	Schwarzlichtleuchte, Pigmente, Pigmentmischungen RGB Spektroskop

LED		
Kleines LED-Praktikum:		
Betrieb an Akku	Reihenschaltung Akkus, Polarität	
Betrieb an Batterie	Flachbatterie, Vorwiderstand	
Transformator	Trafo mit Primär-/Sekundärwicklung, Eisenkern	Spannungsmessgerät, Oszilloskop
Gleichrichter	Einweg-Gleichrichter Brückengleichrichter	Spannungsmessgerät, Oszilloskop
Energie"fresser" und Energie"sparer"		
Messung Energieumsatz	Experimentierset LMV	Energieverbrauch bestimmen (Herstellerangaben / Messungen), mit Helligkeit und Lichtqualität in Relation setzen
Leuchten-"Ranking" 1	Experimentierset LMV	Helligkeit mit Lux-Meter messen Leuchten mit innen verspiegeltem Rohr abdecken, Graufilter auflegen
Leuchten-"Ranking" 2	Experimentierset LMV	Lichtfarbe, Strahlungseigenschaften
Leuchten-"Ranking" 3	Experimentierset LMV	Temperaturmessung
Energie selbst "erzeugen"		
Licht selbst erzeugen	Muskelkraftwerk	Glühlampe / Energiesparleuchte Messen Volt / Strom = Watt Helligkeit (Luxmeter)

Ingo Mennerich,
Energie-LAB in der IGS Mühlenberg
(Hannover),
Oktober 2015