

LASERLICHT & LEUCHTDIODEN

Was hat Einstein mit Laserlicht & LED's zu tun?

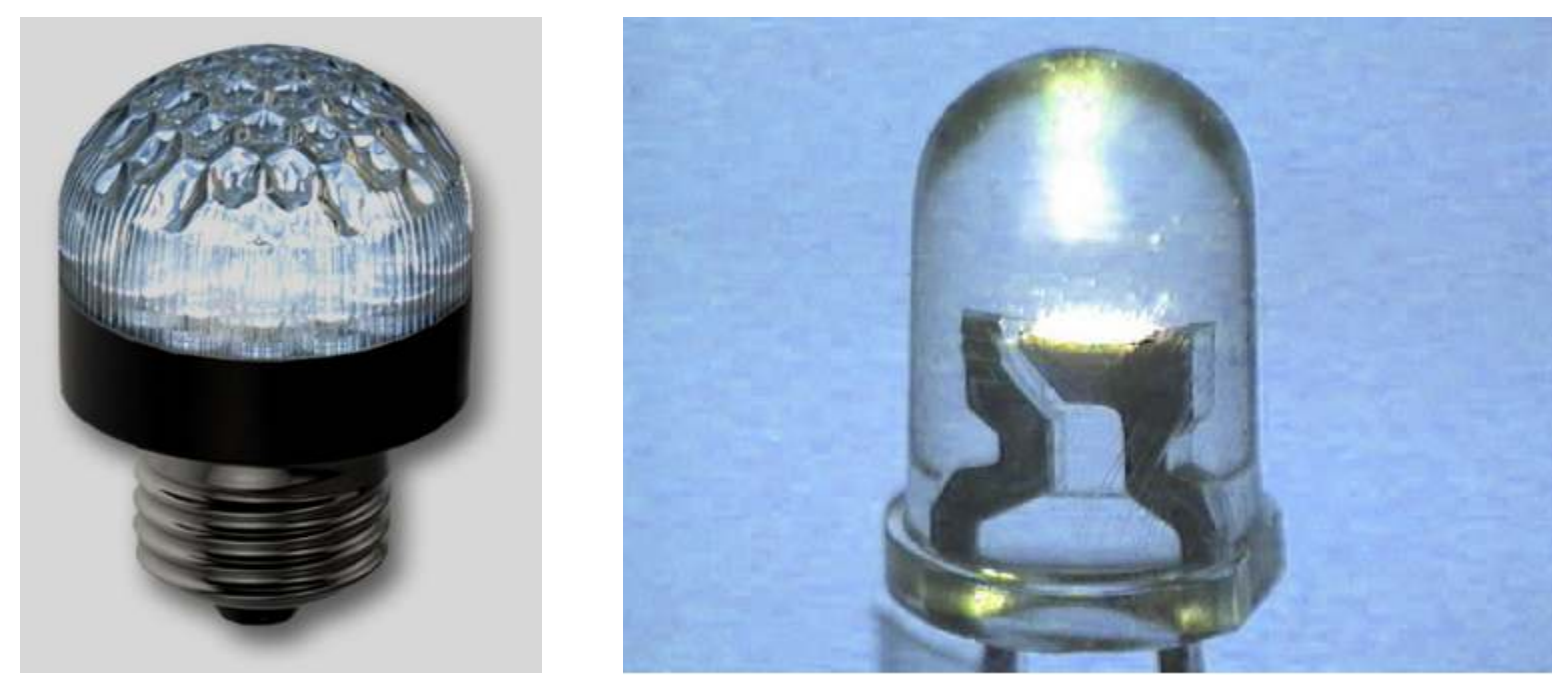
"Wozu braucht man Leuchtdioden?"

Bisher kennt man sie vor allem als die kleinen rot blinkenden Dinger an Computern oder Anzeigetafeln. Doch LEDs sind dabei, die Beleuchtungstechnik zu revolutionieren.

Glühlampen produzieren nicht nur Licht, sondern auch eine Menge Wärme - wie jeder weiß, der sich schon einmal die Finger daran verbrannt hat. Sie sind geradezu erschreckende Energieverschwender: Bei einer Effizienz von nur fünf bis zehn Prozent vergeuden sie mehr als neunzig Prozent der elektrischen Energie als infrarote Wärmestrahlung. Auch Leuchtstoffröhren wandeln nur dreißig Prozent des elektrischen Stroms in Licht um. Weiße Leuchtdioden versprechen Abhilfe, sie erreichen Lichtausbeuten bis zu fünfzig Prozent.

Von der Glühlampe zur Leuchtdiode

Zu Einsteins Zeit wusste man noch nicht, wie Glühlampen eigentlich genau funktionieren. Den ersten großen Beitrag für dieses Verständnis lieferte Einstein 1905 mit seiner Erklärung des photoelektrischen Effekts. Einen weiteren Schritt macht er 1916 mit seinen Arbeiten zur „Strahlungsemission und -absorption nach der Quantentheorie“.



"Was wäre unsere Welt ohne Laser?"

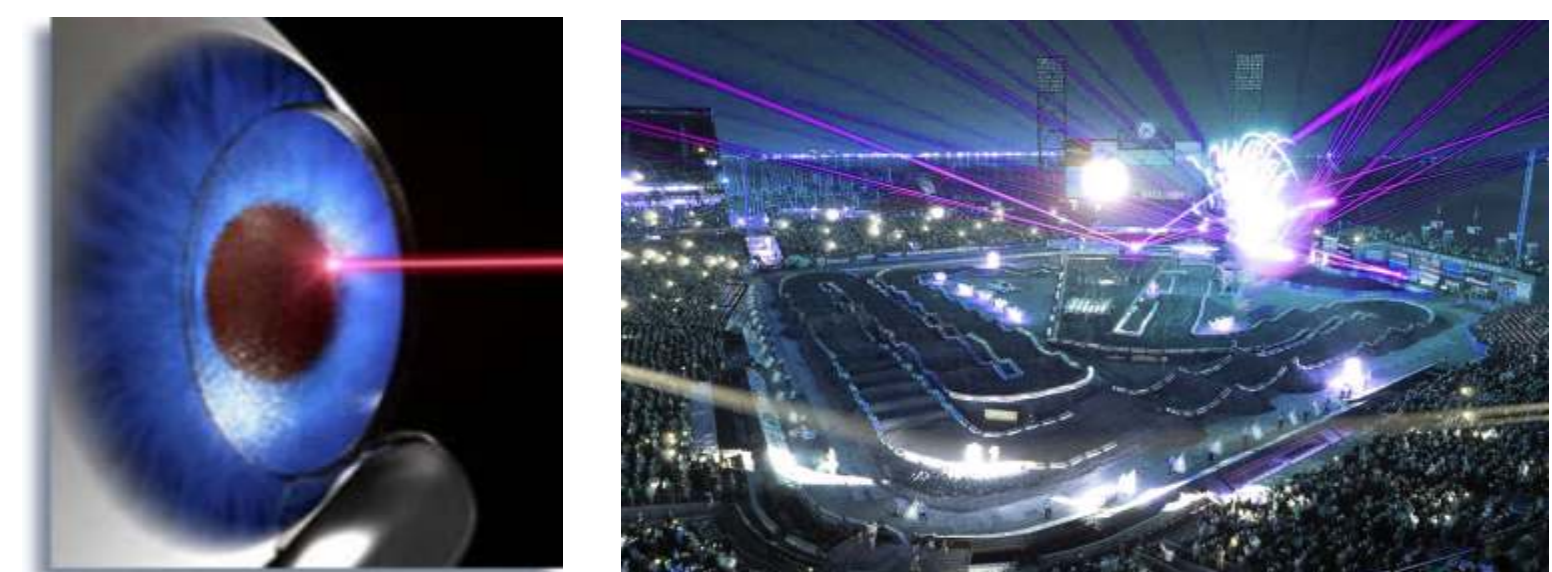
Laser sind überall. An der Supermarktkasse lesen sie die Strichcodes, im Discman tasten sie die Cd's ab, Kosmetikstudios brennen mit ihrem Licht Pickel von der Haut und in Automobilfabriken schweißen Hochleistungslaser Aluminiumteile zusammen.

Was hat Einstein damit zu tun?

Einstein hat keinen Laser selbst entwickelt. Aber vierzig Jahre vor der Erfindung des Lasers legte Einstein die theoretischen Grundlagen.

Welche grundlegende Überlegung war dafür maßgebend?

Das grundlegende Prinzip eines Lasers ist die so genannte stimulierte Emission von Licht. Daher auch der Name: "Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation". 1916 postulierte Einstein zum ersten Mal, dass eine solche stimulierte Emission möglich sein müsse. Es ging ihm damals freilich nicht um Laser oder gar um Supermarktkassen. Seine These folgte aus allgemeinen Überlegungen zur neu entstehenden Quantentheorie. Im Experiment nachgewiesen wurde das Phänomen 1928. Erst 1960 wird der erste Laser gebaut.



Und dazu die Theorie...

Die elektromagnetischen Wellen vom fernen Infrarot über Ultraviolett

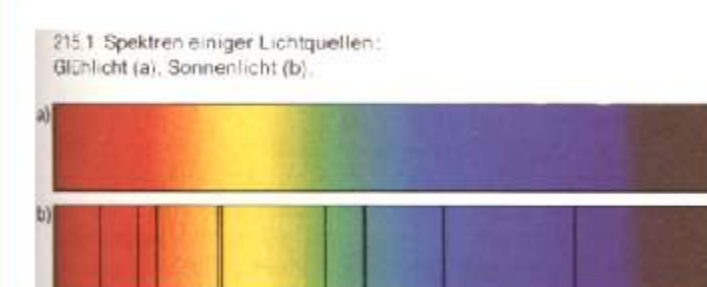
bis zu Röntgenstrahlen nennt man „Licht“, weil sie auf gleiche Weise wie sichtbares Licht entstehen, nämlich durch **Temperaturstrahlung** (in Glühlampen) oder durch **Stöße von Elektronen** (in Leuchtstoffröhren und Röntgenröhren). Jedes Atom enthält elektrische Ladungen. Nun schwingen aber die Atome eines festen Körpers wegen der **Wärmebewegung** dauernd um ihre Ruhelage; man kann sich vorstellen, dass dabei elektromagnetische Wellen entstehen. So kann man sagen: *Alle Körper, deren Temperatur größer als null Kelvin ist, strahlen.* Auch ein Eisklotz strahlt;

Je höher die Temperatur eines festen Körpers ist, desto kleiner werden die Wellenlängen seiner Strahlung. Deshalb sendet ein fester Körper von einer bestimmten Temperatur an sichtbares Licht aus – erst Rot, dann kommen Gelb und Grün dazu, bis schließlich bei *Weißglut* alle Farben ausgestrahlt werden.

GLÜHLAMPEN

1854 erfand der deutsche Uhrmacher Johann Heinrich Goebel die Glühlampe. Th. A. Edison entwickelte die Idee weiter und verhalf ihr 1879 zum Durchbruch. Noch hing das künstliche Licht an einem zeitlich begrenzten Kohlefaden. OSRAM ersetzte ihn 1910 durch einen wesentlich stabileren Metallglühfaden.

Bei Glühlampen handelt es sich um sog. **Temperaturstrahler**. Die aus Wolframdraht bestehende Wendel wird durch elektrischen Strom zum Glühen, und damit zum Leuchten, gebracht. Bei dieser Form der Lichterzeugung werden nur ca. 5 Prozent der eingesetzten Energie in Licht umgewandelt. Der Rest geht als Wärme verloren.



HALOGENLAMPEN

Bei Halogenlampen bleibt der Glaskolben immer klar. Dafür sorgt das Halogen im Füllgas. Es verhindert, dass sich das verdampfte Wolfram innen am Glaskolben ablagert - und zwar, indem es mit dem Wolfram eine gasförmige Verbindung eingeht und zur heißen Wendel zurückströmt. Dort setzt sich das Wolfram ab. Und das freigesetzte Halogen kehrt in den Kreislauf zurück.

LEUCHTSTOFFLAMPEN

Leuchtstofflampen erzeugen weltweit 70% des Kunstlichts, verbrauchen aber nur 50% der für Beleuchtung aufgewendeten Energie. Sie benötigen ca. ein Fünftel des elektrischen Stroms, den eine Glühlampe braucht. Die mittlere Lebensdauer liegt je nach Type und Betriebsart zwischen 5000 und 45000 Stunden, während eine Glühlampe 1.000 Stunden hält.

LEUCHTDIODEN

Leuchtdioden (LEDs, Lumineszenzdioden) sind p-n-Halbleiterübergänge, an die eine hohe Spannung in Durchlassrichtung angelegt wird. Daraus resultieren große Überschüsse von Elektronen auf der p-Seite und von Löchern auf der n-Seite des Übergangs. Wird ein elektrisches Feld angelegt, bewegen sich die Elektronen und Löcher aufeinander zu und rekombinieren. Dabei wird Licht emittiert, dessen Farbe vom Halbleitermaterial und der Dotierung abhängt (stickstoffdotiertes Galliumphosphid GaP beispielsweise strahlt grünes Licht ab). Es handelt sich dabei um die Umkehrung des Vorgangs, der in der Solarzelle abläuft. LEDs werden in der Regel für optische Anzeigen verwendet.

Grundlagen der LED-Technologie. LED-Lumineszenz-Dioden

Als Lumineszenz-Dioden bezeichnet man Dioden, die beim Anlegen einer in Durchlassrichtung gepolten Spannung Strahlung emittieren. Die Wellenlänge des Strahlungsmaximums ist von der Art des Diode verwendeter Halbleitermaterials abhängig. Es gibt Lumineszenz-Dioden für den Bereich sichtbarer Strahlung mit den Farben Grün, Gelb oder Rot sowie solche, die im kurzwelligen Teil des Infrarot-Bereichs Strahlung emittieren. Fließt durch eine Halbleiterdiode ein Strom in Durchlassrichtung, dann werden sowohl Elektronen vom N-Gebiet in das P-Gebiet, als auch Löcher vom P-Gebiet in das N-Gebiet injiziert. Verwendet man, wie es bei Lumineszenz-Dioden der Fall ist, für das N-Gebiet eine sehr hohe, für das P-Gebiet hingegen eine relativ niedrige Dotierungskonzentration, dann wird der Strom über den PN-Übergang nahezu vollständig von Elektronen getragen. Die in das P-Gebiet injizierten Elektronen rekombinieren mit den Löchern. Unter Benützung des Bändermodells bedeutet dieser Vorgang, dass Elektronen aus dem Leitungsband (Energie E_L) in energetisch niedriger liegende Niveaus, im allgemeinen in das Valenzband (Energie E_V), übergehen. Bei diesen Rekombinationsvorgängen geben die Elektronen einen Teil ihrer Energie in Form elektromagnetischer Strahlung ab.

Wirkungsgrad

Bezieht man die Strahlungsleistung auf die von der Diode aufgenommene elektrische Leistung, so erhält man, je nach Diodentyp, einen Wirkungsgrad von etwa 0,5 bis 5%. Von diesem an sich schon kleinen Anteil steht wiederum nur ein kleiner Teil als Nutzstrahlung zur Verfügung, während der weitaus größere Anteil durch Absorption verlorengeht. Die hohen Absorptionsverluste sind hauptsächlich durch die Totalreflexion der Photonen an der Grenzfläche des Kristalls bedingt. Erst durch eine geeignete Wölbung der Plastikoberfläche lassen sich die Totalreflexion und damit die Absorptionsverluste soweit herabsetzen, dass der Vorteil der Kunststoffummüllung als merklich vergrößerte nutzbare Strahlungsleistung in Erscheinung tritt. Um die Absorptionsverluste möglichst klein zu halten, wird bei GaP- und GaAsP-Dioden das P-Gebiet, in dem die Photonen erzeugt werden, als nur wenige mm dicke, direkt an der Oberfläche liegende Schicht ausgebildet.

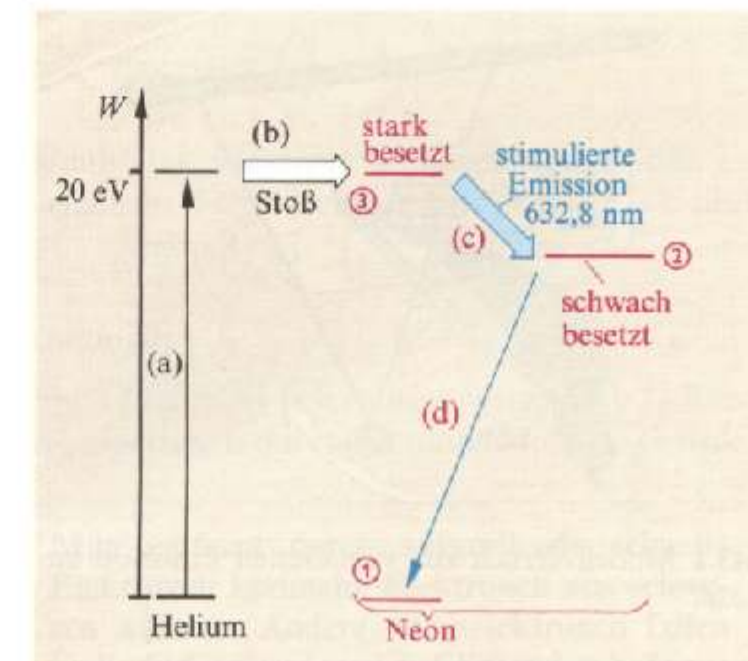


DER LASER

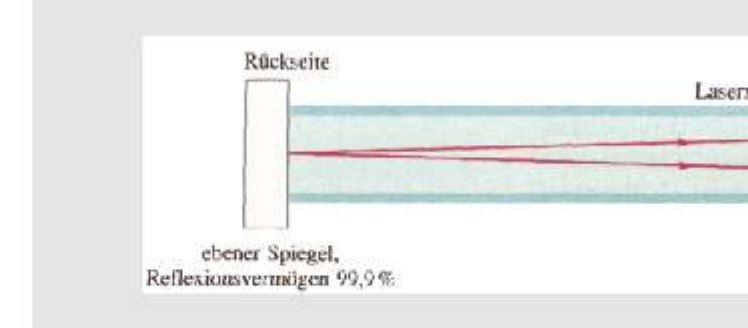
Was passiert in einem Laser?

In einem Laser werden zunächst möglichst viele Atome eines geeigneten Materials in einen höheren Energiezustand versetzt. Das Material ist zwischen zwei Spiegeln platziert, so dass die hin- und her reflektierten Photonen immer mehr Atome zu stimulierter Emission bringen. So entsteht ein kohärenter Lichtstrahl, eine ganze Armee Photonen im Gleichschritt, die zwischen den Spiegeln hin- und her läuft. Einer der Spiegel ist halbdurchlässig und entlässt einen Teil des Laserlichts ins Freie. Zielgenau in eine Richtung - fertig zum vielfältigen Einsatz.

Auf einen Resonator wirkt eine Schwingung gleicher Frequenz. Sie kann nicht nur Energie an den Resonator abgeben, sondern auch phasenrichtig von ihm abrufen.



Helium-Neon-Laser: a) Anregung der He-Atome; b) Energieübertragung von He- auf Ne-Atome; c) stimulierte Emission von $\lambda = 632,8$ nm; d) schnelle Entladung von λ in den Grundzustand λ .



Anwendungen der Lasertechnik

Die geraden Laserstrahlen werden zum Veressen von Bergwerksschächten, Tunneln usw. benutzt. Mit Laserstrahlen bestimmt man Abstand und Relativgeschwindigkeit von Raumfahrzeugen, von Mond und Venus. Die langen Wellenzüge gestatten exakte **interferometrische Längenmessungen**. Wir konnten mit ihnen Interferenz- und Beugungsversuche leicht und übersichtlich demonstrieren. Sehr starke Laser geben im Dauerbetrieb einige Kilowatt an Lichtleistung ab. Man kann **Laserlitzte** erzeugen, deren Leistung mit 10^{12} W so groß ist wie die der gesamten elektrischen Energieerzeugung auf der Erde, allerdings für nur 10^{-11} s. Ihre Energiedichte übertrifft die von fokussiertem Sonnenlicht um das 10^{10} fache. Sie schnei-

Die Technik und Anwendung der Lasertechnik so schnell fort, daß hier nur einige weitere Entwicklungen kurz erwähnt werden können. Neben dem Rubin-Laser gibt es zwei Reihen von anderen Festkörperlaser, die Strahlung mit Wellenlängen zwischen etwa 170 nm und 3000 nm abgeben. Es wurden auch sehr erfolgreich arbeitende Laser mit Leistungen von bis zu 1 kW entwickelt, und bei einem gewissen Lasertyp erreicht man derzeit fast 10¹⁰ W bei Impulsleistungen im Nanosekundenbereich.

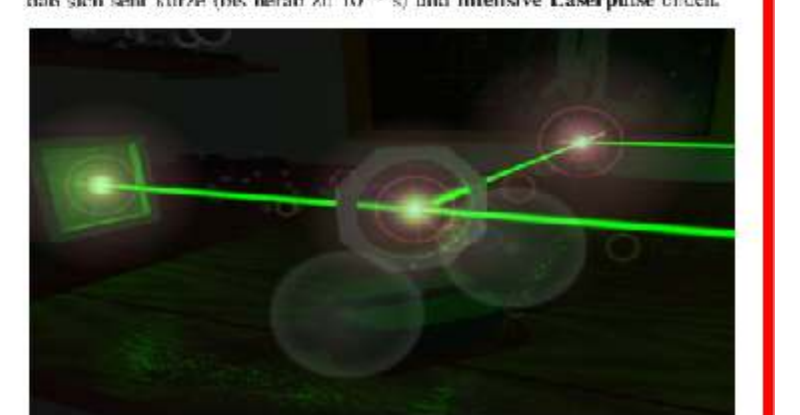
Verschiedene Gaslaser emittieren Strahlung mit Wellenlängen zwischen fernen Infrarot und Ultraviolett. In **Krypton- und Argon-Lasern** werden die Gasatome zunächst in einer Gasentladung durch Elektronenstoß ionisiert. Überall durch Stöße mit Elektronen wird dann in den Ionen die Besetzungszustände, also die Anregung eines „Laserniveaus“, herbeigeführt. Zur stimulierten Emission von Laserlicht kommt es bei diesen Ionenlasern nur wenn die Parameter der Gasentladung (wie Gasdruck und Stromstärke) genau eingestellt sind.

Fluoreszenzorgane (organische Substanzen, aufgelöst in geeigneter Lösungsmittel), werden in den dualstrahligen Farbstofflasern verwendet. Für externe Lichtquelle regt die Farbstoffmoleküle an, die danach in mehreren Schritten in den Grundzustand zurückkehren.

Der **Titan-Saphir-Laser** ist derzeitig der modernste abstimmbare Laser. Er wird mit blauem Laserlicht gepumpt. Das Mineral Saphir besteht fast ausschließlich aus Aluminiumoxid (Al₂O₃). Die im Kristall des Lasers eingelagerten Titan-Ionen führen zu weiteren Schwingungsenergiezuständen. Die durch die Pumpen angeregten Ionen kehren in einen elektronischen Zustand zurück, der zum niedrigen Schwingungsenergielevel des Kristalls gehört, und emittieren dabei rotes Licht.

Halbleiter- oder Dioden-Laser können sehr klein gebaut werden. Laser dieses Typs, die nur so groß wie ein Steckdosenkontakt sind, können eine Strahlungsleistung von bis zu 200 mW abgeben. Häufig besitzen diese Laser aus Halbleitern mit λ Übergängen.

Legt man eine elektrische Spannung an, so werden die freien Elektronen des Überleitungsbandes mit den „Löchern“ im Valenzband, und es wird Licht emittiert. Einer Resonator, dessen gegenüberliegende Endflächen das Licht reflektieren, erhält man so ein durchsichtiges Halbleiter-Laserresonator. Das reflektierte Licht stimuliert weitere durch Elektronen-Loch-Paare absorbiert, was zur weiteren Rekombination von Elektronen Loch-Paaren führt und dadurch den Lichtstrom verstärkt.



Macht man den rechten Spiegel etwas durchsichtig, so verlässt ein Teil der so durch **Selbstorganisation** entstandenen Laserwelle die Quarzrinne. Dieses Laserlicht bildet nun einen **geordneten Wellenzug** mit bis zu 10^5 km Länge, also einer großen Linienschärfe. Er hat fast konstante Amplitude.

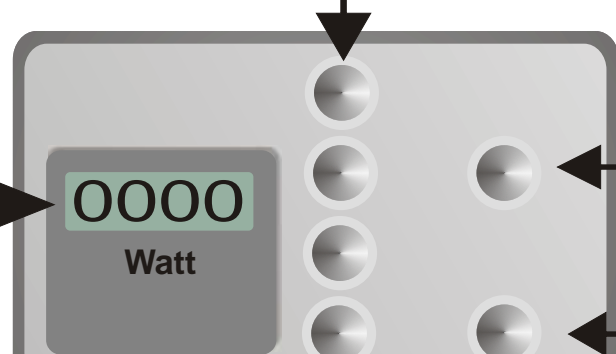
MUSEUM
AUTOVISION
DIE TECHNOLOGIE-ARENA

LEARNING
BY DOING

DIE LEUCHTMITTEL HEUTE

Start von...
Lichtquellen (1-4)

Hierbei die
Leistungsaufnahme
ablesen



DAS LASERLICHT

Start von...
Halbleiter-Laser
(Dioden-Laser)

Festkörper-Laser
(Nd:YAG-Laser)

EINSTEIN
KOMPAKT

Das Museum AUTOVISION war mit der ersten interaktiven Sonderausstellung "Mythos Einstein" offizieller Partner von...



Eine gemeinsame Initiative von Bundesregierung, Wissenschaft, Wirtschaft und Kultur