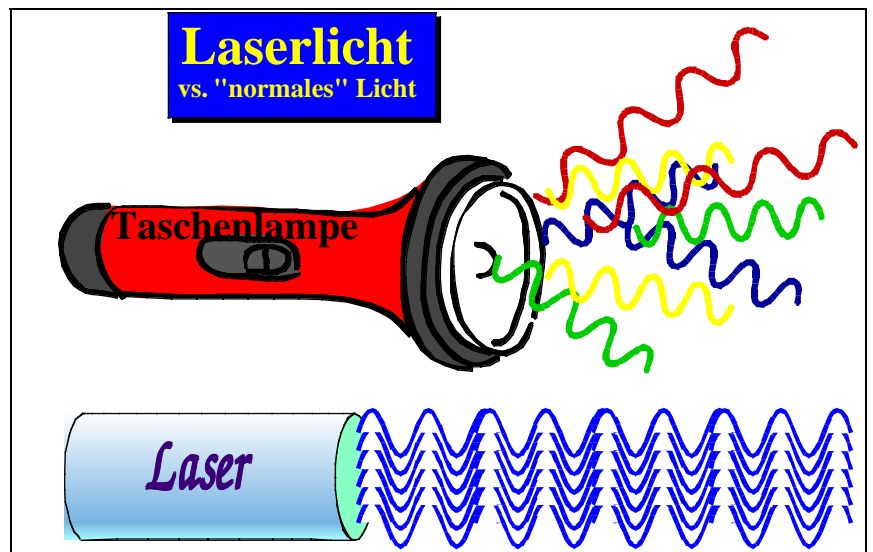


6.7. Laser

6.7.1. Grundlagen

Das Licht eines gewöhnlichen Lasers unterscheidet sich vom Licht einer Glühlampe zunächst dadurch dass es nur eine bestimmte Wellenlänge, resp. Farbe enthält. Dies kann man im Experiment sehr einfach verifizieren: Anstelle eines weißen Strahls einer Bogenlampe schicken wir den roten Strahl eines HeNe Lasers durch das Prisma. In diesem Fall wird das Licht nicht in Spektralfarben aufgetrennt, sondern wir sehen nur eine scharfe rote Linie, welche zeigt, dass das Licht aus diesem Laser eine bestimmte Wellenlänge aufweist.

Grundsätzlich unterscheidet sich ein Laser von einer Glühlampe dadurch dass er als Verstärker arbeitet. Am einfachsten ist der Unterschied zu verstehen wenn man sich vorstellt dass bei einer Glühlampe die einzelnen Lichtquanten praktisch zufällig ausgestrahlt werden, während bei einem Laser sehr genau eingestellt wird was für eine Art von Licht entsteht. Wie das genau funktioniert soll hier nicht diskutiert werden; wichtig ist das Resultat: Man kann Laser bauen, die sehr exakt nur Licht einer bestimmten Wellenlänge (Farbe) erzeugen.

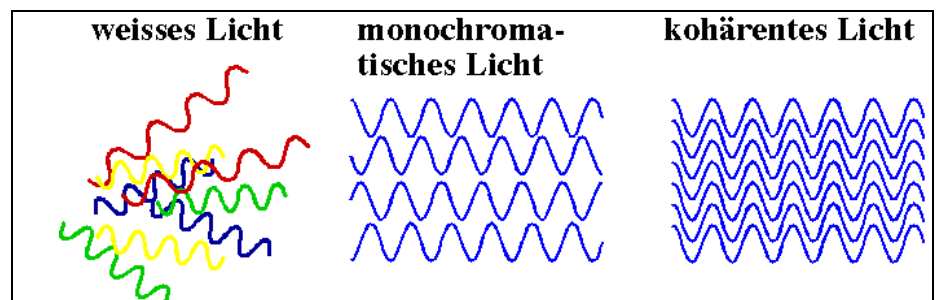


Neben der wohldefinierten Farbe zeichnet sich Laserlicht durch eine weitere Eigenschaft aus: die einzelnen Wellenzüge haben am gleichen Ort ihren Nulldurchgang; man sagt sie sind in Phase oder kohärent.

Video: Kohärenz

Wenn man sich fragt, was denn das spezielle ist am Laserlicht im Vergleich mit anderen Lichtquellen, dann ist es im wesentlichen eine Eigenschaft, welche Physiker mit dem Stichwort "Kohärenz" zusammenfassen.

Damit ist gemeint, dass die verschiedenen Anteile des Lichtes sich identisch verhalten. Dies ist auf diesem Cartoon vereinfacht dargestellt. Bei gewöhnlichem Licht besitzen die einzelnen Komponenten unterschiedliche Farbe, d.h. unterschiedliche Wellenlängen. Bei einfarbigem Licht können verschiedene Teile immer noch unterschiedliche Phase aufweisen, d.h. die entsprechenden Wellen haben zu unterschiedlichen Zeiten ihren Nulldurch-



gang. Das besondere am Laserlicht ist dass alle Komponenten nicht nur die gleiche Farbe (d.h. Wellenlänge) aufweisen, sie sind zudem in Phase, d.h. ihr Nulldurchgang findet zur gleichen Zeit statt.

6.7.2. Funktionsprinzip

Der Name Laser enthält eigentlich schon die wichtigste Zusammenfassung des Funktionsprinzips: LASER = light amplification by stimulated emission of radiation = Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung.

Mit stimulierter Emission ist folgendes gemeint: ist ein Atom oder Molekül nicht im energetisch niedrigsten Zustand, sondern in einem sogenannten angeregten Zustand, so kann es beim Durchgang eines Photons dazu angeregt werden, in den Grundzustand überzugehen und dabei ein zweites Photon zu emittieren. Dieses zweite Photon, welches durch das erste stimuliert wurde, besitzt die gleichen Eigenschaften wie das erste, insbesondere die gleiche Frequenz.

Z: stimulierte Emission

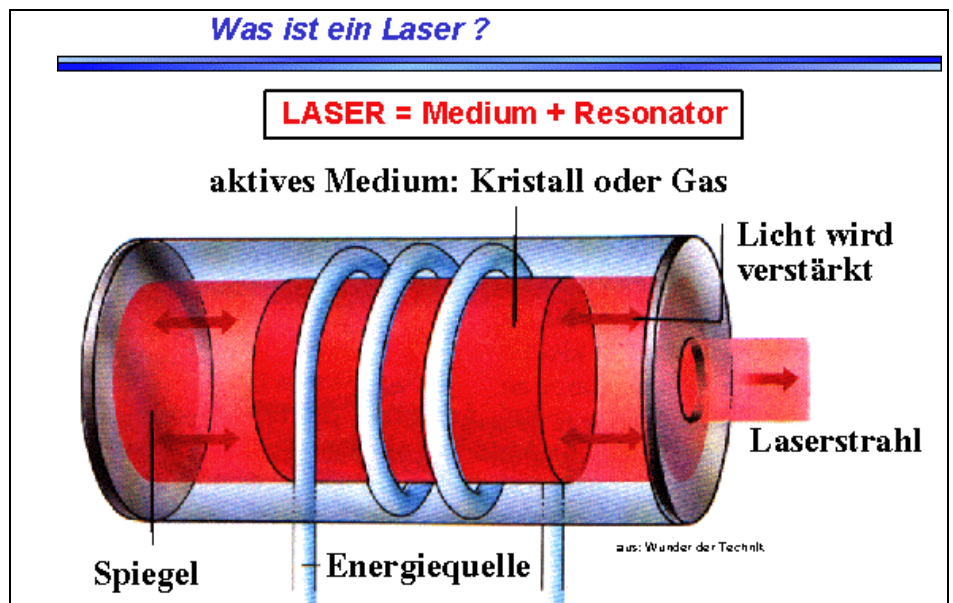
Dabei kommt es also zur Verstärkung des Lichtes, wobei auch bereits eine Richtung bevorzugt wird.

Video: stimulierte Emission

Um eine genügende Verstärkung zu erhalten und die Richtung der stimulierten Emission festzulegen benötigt man zusätzlich zum aktiven Medium einen Resonator. Dieser sorgt dafür dass die Lichtwelle mehrfach durch das Verstärkungsmedium läuft.

Video: Resonator

Es gibt sehr viele Möglichkeiten, Laser zu bauen, aber einige wesentliche Elemente sind allen Modellen gemeinsam. So wird ein sogenanntes Aktives Medium benötigt, welches das Licht verstärkt. Es wird von einer Energiepumpe in den angeregten Zustand versetzt, aus dem es dann unter Emission von Photonen in den Grundzustand übergehen und das einfallende Licht verstärken kann. Außerdem werden mindestens zwei Spiegel benötigt, welche den größten Teil des emittierten Lichtes wieder in das Medium zurückschicken, damit es weiter verstärkt werden kann.

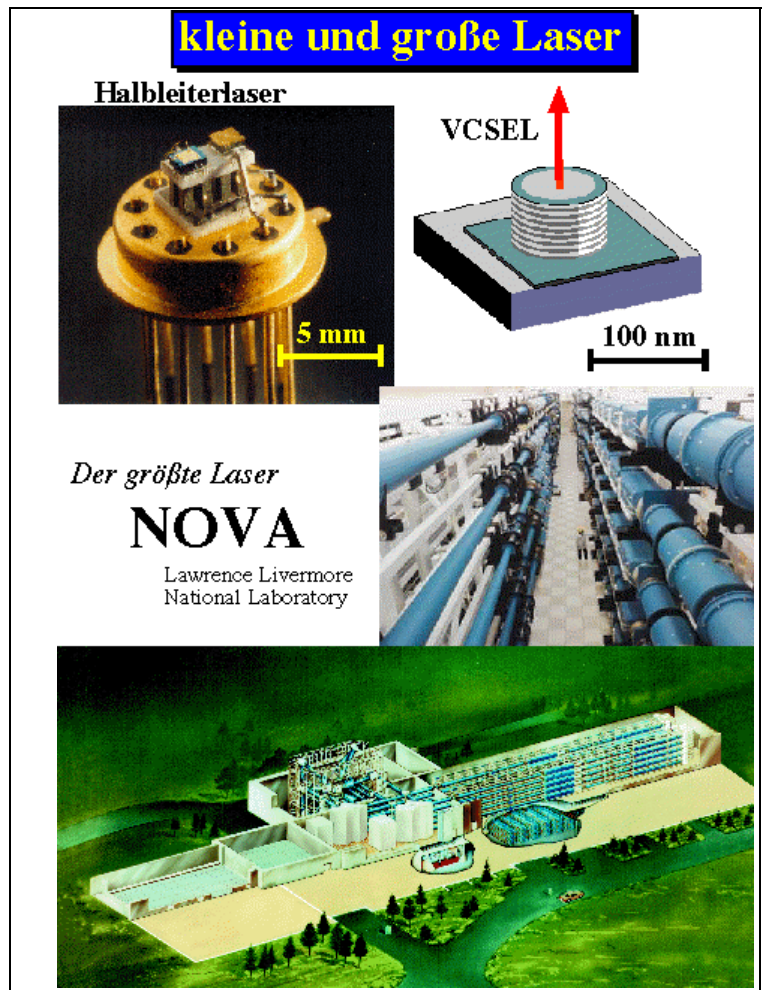


6.7.3. Lasertypen

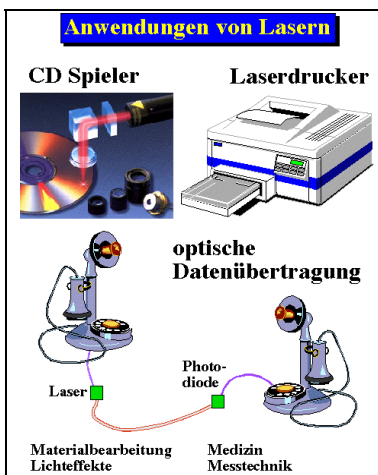
Es existieren sehr unterschiedliche Typen von Lasern. Mit Abstand der wichtigste Lasertyp ist heute der Halbleiterlaser. Hier verwendet man einen Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Halbleitern. Halbleiterlaser haben zwei Vorteile, welche schwer zu überbieten sind: Zum einen können sie billig in großen Stückzahlen hergestellt werden, zum andern werden sie mit elektrischem Strom gepumpt, und haben dabei die höchste Energieausbeute aller bekannten Lichtquellen.

Ein Halbleiterlaser wie er in einem Laserzeiger verwendet wird ist weniger als 1 mm groß. Es gibt noch weitere Typen von Lasern, welche noch kleiner sind. Sie bestehen aus einer Abfolge von Schichten, welche nur wenige Atomlagen dick sind. Insgesamt sind sie weniger als ein Mikrometer groß.

Am anderen Ende der Skala findet man spezielle Laser wie z.B. den NOVA Laser am Lawrence Livermore National Laboratory in den USA. Dieser Laser ist über 100 m lang und 10 m hoch. Eine Idee seiner Größe sollen diese Bilder geben; das obere Bild ist ein Blick in die Halle des Lasers, das untere gibt einen Überblick über das Gebäude in dem er steht. Dieser Laser soll u.a. für die Fusionsforschung verwendet werden.



6.7.4. Anwendungen



Die außerordentlich hohe Präzision, mit der die Frequenz eines Lasers bestimmt werden kann macht ihn auch zu einem möglichen Messgerät für Zeitmessungen. Man kann heute die Frequenz eines Lasers auf etwa 10^{-15} genau messen. Dies entspricht etwa einer Schwingung des Lasers pro Sekunde. Wenn wir den Laser als Uhr verwenden würde er die Zeit nach 31 Mio Jahren um eine Sekunde falsch anzeigen. Man kann dies auch über die sog. Kohärenzlänge messen. Dabei handelt es sich um die Länge eines Wellenzuges, innerhalb derer die Phase konstant bleibt. Für die besten Laser bleibt die Phase über etwa 10^{15} Schwingungen konstant. Bei einer

Wellenlänge von etwa 1/1000 mm bedeutet dies dass die Kohärenzlänge bei rund einer Million km liegt; dies entspricht etwa der Strecke zum Mond und wieder zurück.

6.7.5. Pulslaser

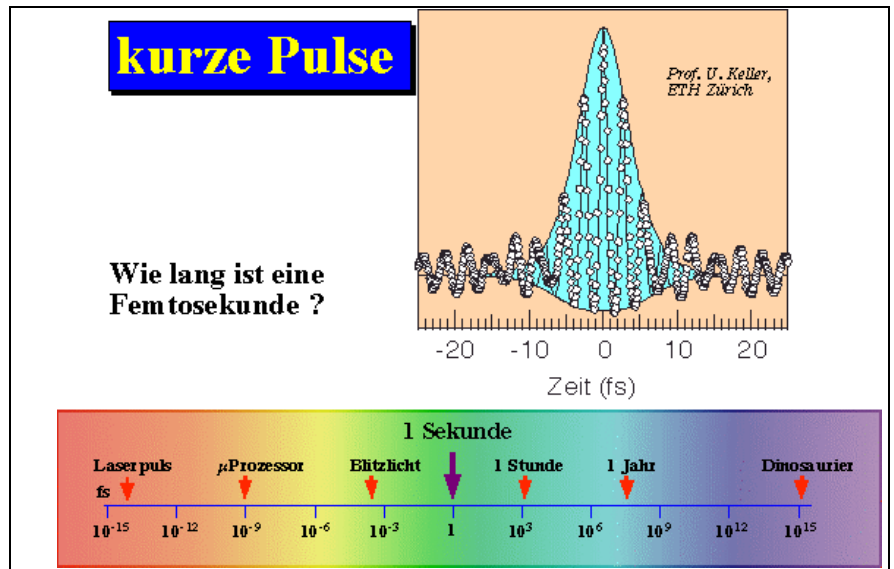
Nicht alle Laser sind auf möglichst hohe Frequenzauflösung optimiert; andere werden auf möglichst hohe Zeitauflösung optimiert, d.h. sie erzeugen sehr kurze Pulse. "Kurz" heißt in diesem Zusammenhang einige fsec.

Vielleicht wissen nicht alle wie lang eine Femtosekunde ist. Ich möchte dies hier anhand einer Skizze verdeutlichen. Eine Femtosekunde ist in wissenschaftlicher Schreibweise 10^{-15} Sekunden. Wie lang das ist kann man am besten auf einer logarithmischen Skala zeigen. In der Mitte dieser Achse ist eine Sekunde. Wenn wir von hier zunächst nach rechts gehen so erreichen wir nach einigen tausend

Sekunden, d.h. etwas mehr als drei Größenordnungen, eine Stunde. Nach etwa vier weiteren Größenordnungen sind wir bei einem Jahr und nach insgesamt 15 Größenordnungen sind wir beim Zeitalter der Dinosaurier, die vor etwa 60 Millionen Jahren ausgestorben sind.

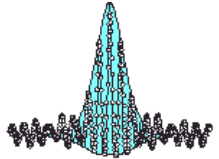
Wenn wir von der Mitte der Achse etwas mehr als drei Größenordnungen nach links gehen sind wir bei der Dauer eines Blitzes, der von einer elektronischen Blitzlampe erzeugt wird. Noch wesentlich schneller laufen heute Mikroprozessoren; die Zykluszeit eines aktuellen Prozessors liegt heute bei etwa einer ns, also bei 10^{-9} . Dies entspricht immer noch einer Million fs; d.h. ein schneller Laserpuls ist mehr als 100'000 mal schneller als ein Pentium III Prozessor.

So kurze Pulse erzeugt man nicht nur aus Rekordsucht; sie haben inzwischen in vielen Gebieten wichtige Bedeutung erlangt.

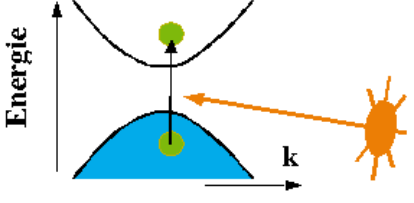


Kurze Pulse verwendet man generell dort wo man sich für schnelle Prozesse interessiert. Dazu gehört z.B. in der Physik die Dynamik von Ladungsträgern in Halbleitern. Bessere Kenntnis dieser Prozesse kommt anschliessend u.a. der Produktion von HL-Lasern zu gute. In der Chemie verwendet man kurze Pulse vor allem für die Untersuchung molekularer Bewegungsprozesse und Reaktionen. Laserpulse ergeben hier in einem gewissen Sinne die Möglichkeit, atomare Bewegungen in Molekülen zu filmen oder sogar zu kontrollieren.

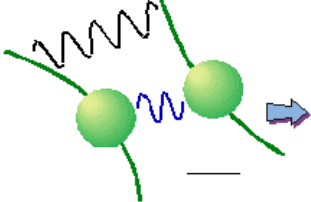
Anwendungen für kurze Pulse

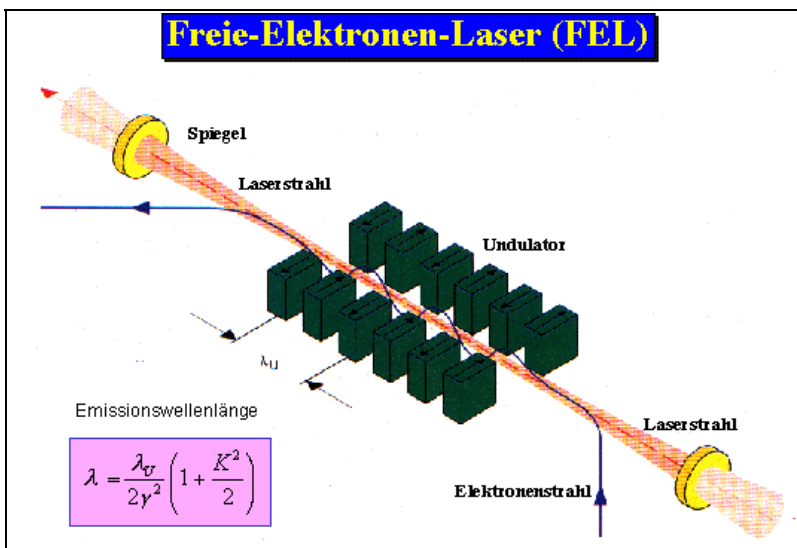


- **Physik**
 schnelle Prozesse in Halbleitern



- **Chemie**
 Beobachtung von chemischen Reaktionen





Ein ganz besonderer Lasertyp ist der freie Elektronenlaser (FEL). Hier ist das Medium ein Elektronenstrahl, welcher in einem Teilchenbeschleuniger erzeugt und durch Ablenkmagneten in eine wellenförmige Bahn gebracht wird. Der Vorteil davon ist dass die Wellenlänge des Lasers jetzt sehr

weit einstellbar wird. Die Emissionswellenlänge wird einerseits vom Abstand der Ablenkmagneten bestimmt, andererseits von der Geschwindigkeit der Elektronen. Beide Parameter können über einen recht breiten Bereich variiert werden.