

Der Laser, das besonders facettenreiche Wesen

Funktionsweise und Bauarten von Laserquellen im Fokus

Die Technik der Bearbeitung von Metall mit Hilfe eines Laserstrahls hat sich in den letzten Jahren und Jahrzehnten in vielen Bereichen etabliert. Entsprechend der Vielzahl an unterschiedlichen Laserapplikationen wurden im Lauf der Zeit verschiedenste Laserquellen entwickelt, die sich in ihrer Bauweise und Funktionalität differenzieren und nicht in gleicher Weise bekannt sind. Dieser Artikel versucht Laserlicht ins Wissensdunkel zu bringen.



1 Mit der CD, der Lasermouse und dem Laserpointer hat der Laserstrahl Einzug in unser tägliches Leben genommen. Wir finden ihn im Gesundheitsbereich etwa als präzises Skalpell ebenso wie in der Blechbearbeitung, wo er in atemberaubendem Tempo Material durchtrennt, ohne jemals, wie herkömmliche Werkzeuge, stumpf zu werden.

Mit dem Laser werden bereits seit den 1970er Jahren feine Schwingfedern in mechanischen Uhren geschweißt oder winzige Bohrungen in die Rubin-Uhrsteine eingebracht. Mit dem CD-Spieler, der Lasermouse und dem Laserpointer hat der Laser Einzug in Massenmärkte und somit in unser tägliches Leben genommen.

Wir finden ihn im Gesundheitsbereich etwa als präzises Skalpell ebenso wie in der Blechbearbeitung, wo er in atemberaubendem Tempo bis zu 30 mm dickes Material durchtrennt, ohne jemals wie herkömmliche Werkzeuge stumpf zu werden.

Eine besondere Welle

Laserlicht ist in der Natur unbekannt. Zwar kennt die Natur verschiedenste Methoden, um Licht zu erzeugen wie an der Sonne oder einem Glühwürmchen beobachtet werden kann, jedoch sind die Lichtstrahlen immer ein Gemisch verschiedener Wellenlängen, die das menschliche Auge in Form verschiedener Farben wahrnimmt. Dies konnte 1888 der Deutsche Heinrich Rudolf Hertz nachweisen. Licht kann demnach wie Radiowellen oder Röntgenstrahlung als elektromagnetische Welle betrachtet werden.

Wie eine Wasserwelle, die logischerweise aus Wasser besteht, besteht eine elektromagnetische Welle aus besonderen Teilchen. Diese werden Photonen genannt und haben paradoxerweise keine Ruhemasse, besitzen aber sehr wohl ein Energiepotenzial, das etwa über die Stäbchen und Zäpfchen in unseren Augen einen elektrischen Reiz erzeugt.

Die Energie der Photonen ist darüber hinaus in der Lage, Elektronen aus Atomen herauszuschlagen. Dieser Effekt bildet die Grundlage für die Solartechnik. Da Photonen keine elektrische Ladung und keine magnetischen Eigenschaften besitzen, sind sie in elektromagnetischen Feldern in der Regel nicht ablenkbar.

Ein Photon darf man sich nicht als eine Art Kugel vorstellen. Vielmehr ist ein Photon ein sogenanntes „Wellenpaket“, dessen Schwingungsamp-

litude am Anfang Null beträgt, dann bis zu einem Maximalwert immer größer wird, um schließlich wieder auf Null zu fallen.

Stellvertretend kann man sich hier einen Ton vorstellen, der unhörbar startet, dann immer lauter wird, bis er schließlich wieder verstummt. Ein Lichtstrahl besteht aus vielen dieser „Wellenpakete“ und bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit, die in der Luft mit knapp 300.000 Kilometer pro Sekunde gemessen worden ist, fort. In dichten, durchsichtigen Medien verringert sich die Lichtgeschwindigkeit jedoch. So beträgt sie im Wasser etwa 225.000km/s und in Gläsern mit hoher optischer Dichte 160.000km/s.

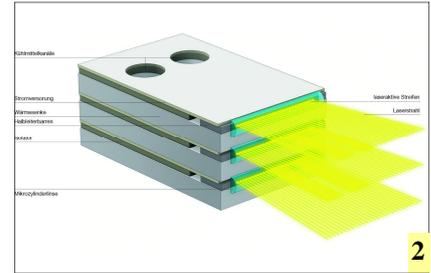
Vom Photon zur Lawine

Ähnlich der Kettenreaktion in der Kernspaltung fußt die Entstehung des Laserlichts auf der explosionsartigen Freisetzung bestimmter Teilchen. Genau wie eine einzelne Schneeflocke

der Beginn einer Lawine sein kann, ist ein einzelnes Photon der Geburtshelfer eines Laserstrahls.

Das Medium, das zur Laserstrahlerzeugung dient, kann fest, flüssig oder gasförmig sein. Generell gilt, dass Festkörperlaser eine höhere Leistungsdichte – also eine höhere Energie pro Fläche – aufweisen als CO₂-Laser, da bei ihnen stärker fokussiert werden kann. Dies allein darf jedoch nicht die Richtschnur sein, da die Wirtschaftlichkeit des Lasers zu beachten ist.

Zudem soll der Laser im rauen Fertigungsalltag zuverlässig laufen und nur wenig Wartung benötigen. CO₂-Laser erreichen beispielsweise Wartungsintervalle von 10.000 Betriebsstunden und haben sich dank ihrer technischen Ausgereiftheit und ihrer universellen Einsetzbarkeit einen festen Platz in der Materialbearbeitung erobert. Aber auch die neuesten Festkörperlaser benötigen kaum mehr Wartung und bewähren sich im indust-

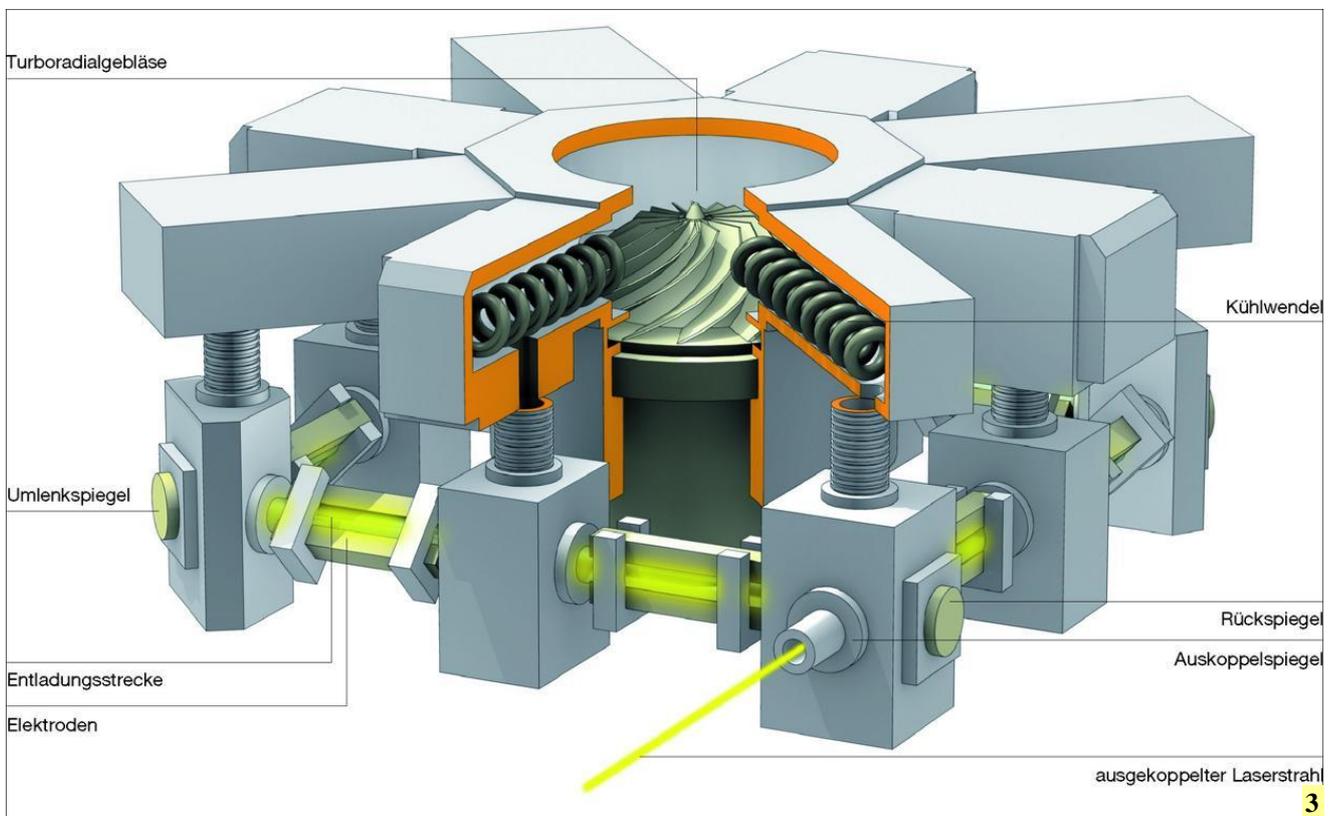


2 Der Hochleistungsdiodenlaser wird beispielsweise in CD-Laufwerken eingesetzt.

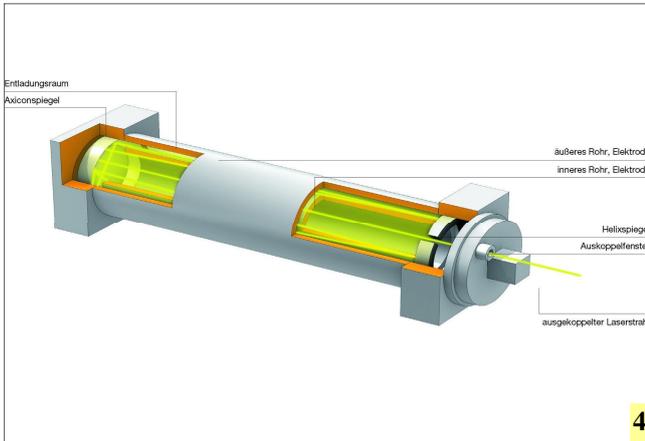
riellen Dreischichtbetrieb. Letztlich entscheiden also die spezifischen Anwendungsanforderungen, welcher Laser die richtige Wahl darstellt.

Lasergeburt im CO₂-Gas

Im CO₂-Laser senden CO₂-Moleküle das Laserlicht aus. Das CO₂-Gas wird durch beigemishtes Helium- und Stickstoffgas in der Lasererzeugung unterstützt. Gasentladungen durch hohe Gleich- oder Wechselspannung erzeugen freie Elektronen, die die Stickstoffmoleküle durch Stöße anre-

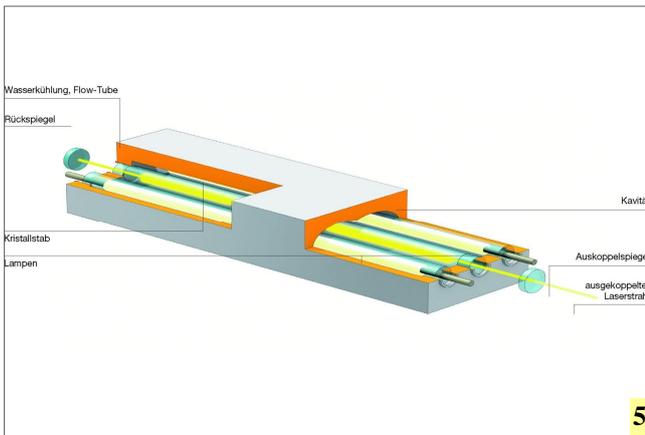


3 Im CO₂-Laser senden CO₂-Moleküle das Laserlicht aus. Das CO₂-Gas wird durch beigemishtes Helium- und Stickstoffgas in der Lasererzeugung unterstützt.



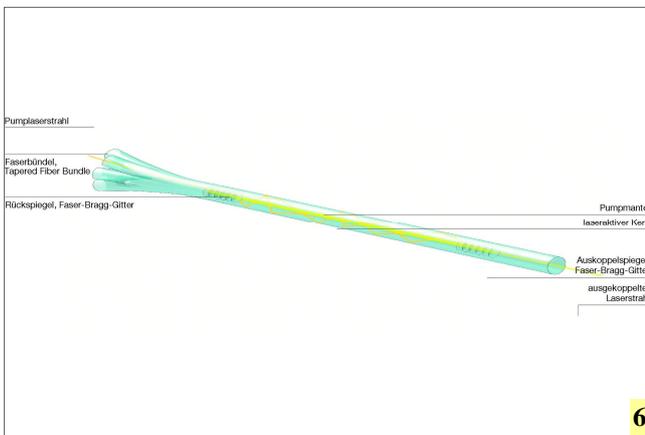
4

4 Ganz ohne Gasumwälzung kommt der diffusionsgekühlte CO₂-Laser aus. Hier wird die entstehende Wärme über Resonatorwände abgeführt.



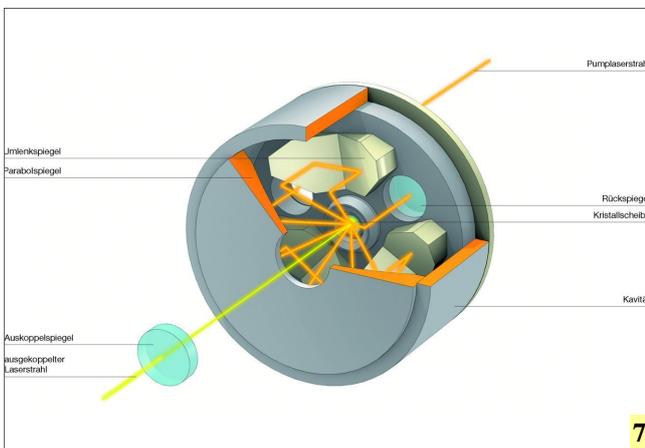
5

5 Der Stab laser ist der älteste Festkörperlaser. Ihn gibt es seit den 1960er Jahren. In ihm wird ein Stab von wenigen Millimeter Durchmesser, der aus dem künstlichen Kristall mit dem Namen Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat (Nd:YAG) besteht, als Medium zur Strahlerzeugung genutzt.



6

6 Faserlaser arbeiten mit Kristallfasern, die einen Durchmesser von weniger als einem Millimeter haben. Dadurch besitzen sie den Vorteil, dass die aktive Faser nicht mit Wasser gekühlt werden muss. Vielmehr genügt die Wärmeabgabe an die Luft.



7

7 Bei Scheibenlasern – deren erste 1-kW-Modell TRUMPF 1999 demonstriert hat – ist der Stab nicht durch eine Faser, sondern durch eine dünne, runde Scheibe ersetzt worden. Diese Art der Laserstrahlerzeugung hat eine große Zukunft.

gen. Diese wiederum geben ihre Energie an die CO₂-Moleküle weiter, die dadurch vom Grundzustand ans obere Laserniveau kommen.

Im Moment des Übergangs an das untere Laserniveau werden Photonen abgestrahlt. Die Elektronen kehren in den Grundzustand zurück und geben Wärme ab. Dadurch erwärmt sich das Gas und muss daher gekühlt werden, da der Laserprozess bei 200 bis 300 Grad Celsius zum Erliegen kommt.

Das Gas bleibt daher nur kurze Zeit in der Entladungsstrecke. Es strömt mit 200 Metern pro Sekunde in die Entladungsrohre, erhitzt sich und wird auf nahezu Schallgeschwindigkeit weiterbeschleunigt. Über Kühlwedel wird die überschüssige Wärme abtransportiert. Die TruLaser 3030 NEU ist so eine Maschine, die mit dem CO₂-Laser arbeitet. Die Maschine ist in der Lage, Blechdicken bis 25 mm zu bearbeiten.

Ein sparsamer Geselle

Ganz ohne Gasumwälzung kommt der diffusionsgekühlte CO₂-Laser aus. Hier wird die entstehende Wärme über Resonatorwände abgeführt. Dadurch reicht eine kleine Gasflasche für einen jahrelangen Betrieb. Im so genannten Koax-Laser ist dieser Gedanke auf die Spitze getrieben worden. In diesem Lasertyp sind Metallrohre ineinandergeschoben.

Der Raum zwischen den beiden Rohren ist mit Gas gefüllt. Hier entsteht der Laserstrahl, der, wenn er aus dem Resonator austritt, den Querschnitt eines Kreissegments besitzt und anschließend über Spiegel optimal geformt wird. Der Coax-Laser ist besonders für den mittleren Leistungsbereich wie etwa für Stanz-Laser-Maschinen geeignet. Durch seine Kompaktheit findet der Laser auf dem Maschinenrahmen Platz. Die TruLaser 2030 ist mit diesem Lasertyp ausgestattet und trumpft besonders im Dünnsblechbereich.

Edle Kristalle für Laserlicht

In einem Festkörperlaser bildet, anders als in einem Gaslaser, ein künst-

licher Kristall, also ein fester Körper, das aktive Medium für die Strahlerzeugung. Anders als Naturkristalle besitzen diese ein vollkommen regelmäßiges Kristallgitter und werden daher in der Fachsprache als „Einkristalle“ bezeichnet. Zu den Festkörperlasern gehören der Stab-, der Faser- und der Scheibenlaser.

Der Stablaser

Unter diesem Trio ist der Stablaser der älteste. Ihn gibt es seit den 1960er Jahren. In ihm wird ein Stab von wenigen Millimeter Durchmesser, der aus dem künstlichen Kristall mit dem Namen Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat (Nd:YAG) besteht, als Medium zur Strahlerzeugung genutzt. Die Länge und der Durchmesser dieses Stabes entscheiden über die maximale Leistung des Lasers.

Zwei Bogenlampen, links und rechts vom Kristallstab platziert, erzeugen die Photonen zur Anregung des aktiven Mediums. Sie gelangen entweder direkt oder über die verspiegelte Kavität, die die Form einer Doppelellipse hat, in den Stab. Für besonders hohe Leistungen werden Laserdioden statt Bogenlampen eingesetzt. Mit ihnen erhöht sich der Wirkungsgrad bis um das Fünffache.

Nachteilig am Stablaser ist, dass sich seine Leistung nicht beliebig steigern lässt. Die Ursache liegt in der inhomogenen Kühlung nur an der Außenseite des Stabs. Im Stabmittelpunkt ist die Temperatur höher und nimmt zum Rand hin ab.

Dies hat neben dem thermischen Stress, der bis zur Zerstörung des Stabes führen kann, auch zum Ergebnis, dass sich der Brechungsindex des Kristalls ändert und daher das Laserlicht in der Mitte langsamer als am Rand fortbewegt.

Die Folge ist eine nachteilige Aufweitung des Lasers, die zu einer verminderten Strahlqualität führt. Diesem Nachteil wird mit dem Faser- und dem Scheibenlaser begegnet. Diese benötigen zum effizienten Funktionieren jedoch einen Diodenlaser, die erst seit den 1990er Jahren zu Verfügung stehen.

8 Die TruLaser 2030 ist mit einem Coax-Laser ausgestattet und trumps besonders im Dünnblechbereich auf.

9 Die TruLaser 3030 NEU ist mit dem CO₂-Laser ausgestattet. Die Maschine ist in der Lage, Blechdicken bis 25 mm zu bearbeiten.



Der Faserlaser

Faserlaser arbeiten mit Kristallfasern, die einen Durchmesser von weniger als einem Millimeter haben. Dadurch besitzen sie den Vorteil, dass die aktive Faser nicht mit Wasser gekühlt werden muss. Vielmehr genügt die Wärmeabgabe an die Luft, da ihre Oberfläche im Verhältnis zum Volumen sehr groß ist.

Die Länge der Faser entscheidet wie beim Stablaser über die Laserleistung. Für die Materialbearbeitung wird dieser Lasertyp derzeit immer weiter optimiert. Bisher werden die nötigen hohen Leistungen erreicht, indem die Strahlen vieler Einzellaser parallel gekoppelt werden (Multimode). Dies führt zu einem Strahlqualitätsverlust gegenüber Einzelfasern.

Neue Hochleistungsfasern sollen die Kopplung ersetzen, damit der Faserlaser noch einfacher eine Laserstrahlung

von höchster Strahlqualität in einem großen Leistungsbereich erzeugen kann. Der TruFiber400 ist eine solche Laserstrahlquelle.

Der Scheibenlaser

Bei Scheibenlasern – von denen das erste 1-kW-Modell TRUMPF 1999 demonstriert hat – ist der Stab nicht durch eine Faser, sondern durch eine dünne, runde Scheibe ersetzt worden. Diese Art der Laserstrahlerzeugung hat eine große Zukunft, da mit dem Scheibenlaser, der – wie alle Festkörperlaser – eine um den Faktor 10 kürzere Wellenlänge als der CO₂-Laser hat, höchste Strahlqualitäten erreicht werden und er und die Vorteile des Laserlichtkabels bietet: Der Laserstrahl kann geteilt, umgelenkt, umgeschaltet, gesperrt und gemessen werden. Im Kabel ist er optimal geschützt

und kann Strecken von über 100 Metern zwischen Strahlquelle und Maschine überwinden.

Auch der Scheibenlaser hat sich längst im Industriealltag bewährt. Seit 2004 sind 4-kW-Scheibenlaser in der Automobilindustrie in der Massenproduktion im Dreischichtbetrieb im Einsatz, 2007 wurde der erste 10-kW-Laser ausgeliefert.

Das Herz des Scheibenlasers ist eine etwa 15 Millimeter im Durchmesser messende und lediglich ca. 0,2 Millimeter dünne Kristallscheibe aus Yb:YAG. Da sich in diese Scheibe, anders als ein Stab, nicht im Zentrum erwärmt, ergibt sich eine hohe Strahlqualität, da der Laserstrahl nicht deformiert wird.

Aufgrund der geringeren Brillanzanforderungen an die Strahlqualität der Pumpdioden können Scheibenlaser im Vergleich zu Faserlasern zudem günstiger angeregt werden. Die TruDisk-Familie von Trumpf umfasst verschiedene derartige Laserstrahlquellen.

Der Weg zum Massenartikel

Diodenlaser sind mittlerweile ein Massenartikel geworden. Man findet sie in CD-Laufwerken, Scannerkassen, Lichtschranken oder Laserdruckern. Der Betrieb von Scheiben- oder Faserlasern ist ohne sie als Pumpquelle undenkbar. Sie sind praktisch die „Zündkerze“ für diese Lasertypen.

Wegen ihrer geringeren Strahlqualität werden Diodenlaser in der Materialbearbeitung in erster Linie zum Schweißen von Metallen, zum Löten, zum Beschichten oder zum Härten eingesetzt. Sie sind wie die Leuchtdiode aus p- und n-dotierten Halbleitern aufgebaut, die aneinander gefügt sind.

Wird nun eine Spannung angelegt, können freie Elektronen vom n-dotierten Halbleiter in den p-dotierten Halbleiter wandern. Dieser Vorgang wird als „Rekombination“ bezeichnet. Dieser Effekt, der durch den Transistor berühmt geworden ist, bewirkt bei bestimmten Materialkombinationen der Halbleiter, dass Photonen entstehen. Strom wird so direkt in Licht umgewandelt. Der Diodenlaser ist der kleinste unter den Strahlquellen. Der

eigentliche Laser etwa eines CD-Players ist 0,1 Millimeter lang, 0,004 Millimeter breit und 0,001 Millimeter hoch, was ihn für das Auge nahezu unsichtbar macht.

Der Diodenlaser ist also ein echtes Wunderwerk der Technik, dessen Leistung zwischen 1 mW und mehreren Watt liegen kann, und sich durch geschicktes Zusammenfassen vieler La-

serdioden auf 100 Watt und mehr steigern lässt. Diodenlaser sind sehr kompakt und robust. Zudem besitzen sie einen sehr hohen Wirkungsgrad von bis zu 65 Prozent. Ein Nachteil der Diodenlaser ist jedoch die geringe Strahlqualität, wodurch die Anwendbarkeit eingeschränkt ist. Neue Konzepte erlauben jedoch Tiefschweißanwendungen und sorgen dafür, dass

Wie entsteht ein Lichtstrahl?

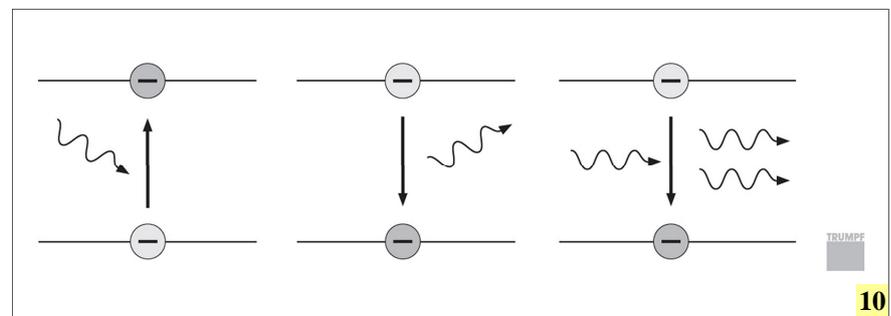
Wenn beispielsweise Strom durch den Wedel einer Glühlampe fließt, nehmen die Elektronen der Wolframatome des Glühfadens Energie auf. Dies geschieht durch die Elektronen des Stroms, der durch den Glühwedel fließt. Diese Elektronen stoßen auf ihrem Weg von Minus nach Plus (der tatsächlichen Stromrichtung) mit den Elektronen der Wolframatome zusammen. Da Elektronen negativ geladen sind und gleichpolige Ladungen sich abstoßen, wird lediglich die Bewegungsenergie der Stromelektronen auf die Wolframelektronen übertragen.

Durch die Kernkräfte, die das Atom insgesamt zusammenhalten, führt diese Energie dazu, dass das Atom zu schwingen beginnt. Zusätzlich können die vormals den Atomkern in einem bestimmten Abstand umkreisenden Elektronen nicht mehr an der ursprünglichen Stelle verharren. Da sie nun eine höhere Bewegungsenergie besitzen, müssen sie sich ein anderes, höheres Energieniveau suchen. Sobald das Elektron diese höhere Bahn erreicht hat, spricht der Fachmann von „angeregten Atomen“. Dieser Zustand ist jedoch nicht stabil. Bildlich gesprochen kann man sich das Elektron an einer Zugfeder eingehängt vorstellen, die das Elektron wieder nach unten zu ziehen versucht. Das Elektron bleibt nur kurze Zeit auf der neuen Bahn und fällt dann auf das ursprüngliche Energieniveau zurück.

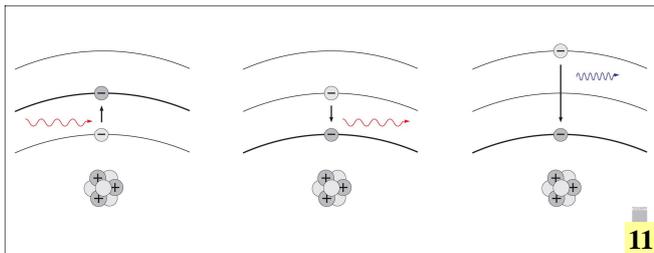
Auf diesem Weg zurück wird die vormals gespeicherte zusätzliche Energie als Licht in Form eines Photons wieder abgegeben. „Spontane Emission“ lautet der Fachbegriff dazu. Je mehr Energie in das Elektron fließt, desto höher ist dessen neues Niveau und umso kürzer ist die Wellenlänge des ausgesendeten Photons beim erneuten Einnehmen des Grundzustands.

Die unterschiedlichen Wellenlängen nimmt das menschliche Auge in Form verschiedener Farben wahr. Der Glühfaden bekommt daher je nach Stromstärke Farben von Dunkelrot bis Hellweiß. Wenn die Stromstärke zu hoch wird, führt diese Energie dazu, dass die Elektronen sogar ihr Energieniveau verlassen und zu freien Elektronen werden. Darüber hinaus können die Atomschwingungen so groß werden, dass der Molekülverband nicht mehr stabil ist und sich die Moleküle voneinander entfernen. Das Material wird weich und schmilzt. Im Fall der Glühlampe brennt der Faden durch.

Selbst wenn es gelänge, mit vielen Elektronen den Vorgang der Lichterzeugung synchron ablaufen zu lassen, entstünde noch lange kein Laserlicht, da die erzeugten Photonen ungerichtet in alle Richtungen davonfliegen würden. Der Weg zu einem Licht, das es in der Natur nicht gibt, war daher lang. Obwohl der Effekt bereits 1917 von Albert Einstein vorhergesagt worden ist, blitzte Laserlicht erst im Jahre 1960 in einem Kalifornischen Labor auf.

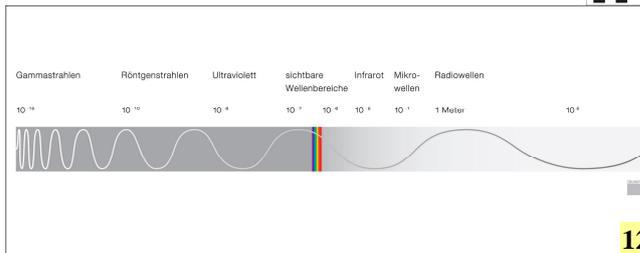


10 Anregung (links), spontane Emission (Mitte), stimulierte Emission (rechts)



11

11 In Atomen entsteht Licht, wenn Elektronen Energie aufnehmen, in eine höhere Schale wechseln und dann wieder in den Grundzustand übergehen. Je größer die Energiedifferenz, desto höher ist die Frequenz.



12

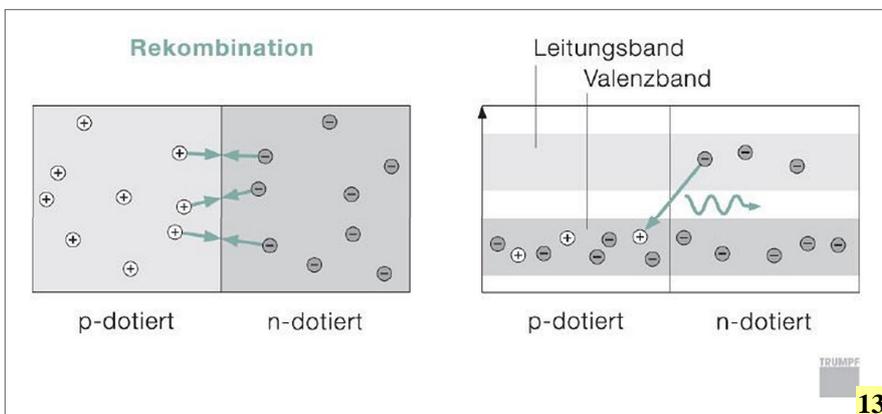
12 Das Spektrum der elektromagnetischen Wellen: Das Auge des Menschen nimmt nur einen kleinen Ausschnitt davon als sichtbares Licht wahr.

Wie entsteht ein Laserstrahl?

Ein Photon trifft auf ein Elektron eines angeregten Atoms. Ein angeregtes Atom ist ein mit Energie beaufschlagtes Atom, das entsprechend dieser Energie schwingt und dessen Elektronen dadurch auf höhere Energieniveaus gewechselt sind. Dieses „Anregen“ kann beispielsweise durch ein Photon, das von einer Lampe oder einem Laser kommt geschehen. In diesem Fall „schluckt“ ein Elektron eines Atoms, das sich noch im Grundzustand befindet, dieses Photon (Fachleute sprechen vom „absorbieren“). Dadurch besitzt das Elektron nun eine zusätzliche Energie, die den Wechsel auf eine höhere Bahn ermöglicht.

Diese zusätzliche Energie kann nun in die Entstehung weiterer Photonen gesteckt werden. Ein Photon, das nun auf das Elektron in der höheren Bahn trifft wird ebenfalls „geschluckt“. Dies bewirkt, dass das Elektron wieder die Bahn des Grundzustandes aufsucht und in diesem Vorgang die beiden „geschluckten“ Photonen wieder freigibt. Dieser Prozess würde auch ablaufen, wenn kein Photon auf das Elektron trifft, da das Elektron immer bestrebt ist, den Grundzustand einzunehmen. Dieses einzelne Photon wird in diesem Fall in eine zufällige Richtung abgegeben.

Im Gegensatz dazu besitzen die beiden „freigegebenen“ Photonen die gleiche Frequenz und die gleiche Phasenlage wie das den Vorgang auslösende Photon und bewegen sich zudem in die gleiche Richtung. Die beiden Photonen können nun weitere Photonen aus anderen angeregten Atomen erzeugen oder weitere Atome anregen. Sollten sich die Photonen vom Medium entfernen, werden sie durch Spiegel zurückreflektiert, um den Photonenerzeugungsprozess aufrecht zu erhalten und zu verstärken. Dieser Vorgang läuft wie in der Kettenreaktion einer Atombombe rasend schnell ab. Alle so entstandenen Photonen besitzen die gleiche Wellenlänge, schwingen im Gleichtakt und haben die gleiche Ausbreitungsrichtung. Dadurch ist der erzeugte Laserstrahl kompakt und weitet sich kaum auf. Seine große Energiedichte, bringt sogar Stahl zum Schmelzen.



13

13 Links: Bei der Rekombination von Elektronen und Löchern am p-n-Übergang entsteht Laserlicht. Rechts: Darstellung im Energiebandmodell.

sich Diodenlaser zunehmend im industriellen Markt durchsetzen.

Die Laserstrahlführung

Wenn der Laserstrahl endlich erzeugt ist, gilt es, diesen möglichst verlustarm zur Arbeitsstelle zu leiten. Nicht jeder Laserstrahl kann jedoch auf eine beliebige Weise geführt werden, da die Art der Strahlführung von dessen Wellenlänge abhängig ist. So ist etwa Quarz-

glas für die Wellenlänge von Festkörperlaser transparent, für CO₂-Laser dagegen jedoch nicht. Dies hat zur Folge, dass ein CO₂-Laserstrahl nicht wie ein Festkörperlaserstrahl durch ein Laserlichtkabel geleitet werden kann und daher eine aufwendige Spiegelkonstruktion zur Strahlführung benötigt. Neben der Spiegelkonstruktion zur Umlenkung des Lasers benötigt der CO₂-Laserstrahl sogenannte Strahl-

schutzrohre. Diese haben zum einen eine Schutzfunktion für das Maschinenbedienpersonal und verhindern zum anderen, dass Stäube, Öle und Schmutz in der Fertigungshalle den Laserstrahl negativ beeinflussen.

Zu diesem Zweck stehen die Rohre unter Überdruck und sind mit Stickstoff oder gereinigter Luft gefüllt. Rohre sind natürlich an bewegten Maschinenelementen nicht möglich. Hier werden daher Faltenbälge aus hochfeuerfesten Materialien eingesetzt.

Die störungsfreie Führung eines Laserstrahls bedarf einer ganzen Reihe pfiffiger Lösungen. So wird beispielsweise mittels eines Strahlteleskops der Laserstrahldurchmesser um den Faktor 1,5 bis 2 vergrößert. Dadurch verringert sich der Öffnungswinkel und der Strahl kann so über eine größere Strecke geführt werden.

Änderungen des Öffnungswinkels (Fachleute sprechen von der „Divergenz“) können mittels Kühlwasserdruckänderungen ausgeglichen werden. Das Kühlwasser, das einen adap-



tiven Spiegel durchströmt, kann dadurch die Wölbung des Spiegels verändern. Ein „adaptiver Spiegel“ besteht aus Kupfer oder beschichtetem Silizium. Dies sind diejenigen Materialien, die für die jeweilige Laserwellenlänge reflektierend sind. Obwohl der Formunterschied durch die Änderung des Kühlwasserdrucks nur wenige tausendstel Millimeter beträgt, genügt dies doch, die Fokuslage oder den Strahldurchmesser um bis zu 30 Milli-

meter zu verschieben. Die Strahlführung beim CO₂-Laser erlaubt folglich den Eingriff in die Strahlausbreitung – Grundlage für die Ein-Schneidkopf-Strategie der neuesten TRUMPF Laserflachbettmaschinen. Am Ende der Strahlführung gelangt der Laserstrahl in die Bearbeitungsoptik. Mittels einer Fokussierlinse, wird der Laserstrahl auf einen winzigen Brennfleck gebündelt. Dadurch erhöht sich dessen Leistung um einige Zehnerpotenzen. Je kleiner

dieser Fokusdurchmesser ist, desto feiner lässt sich Material bearbeiten. Im Sommer kann jeder mit einer Lupe diesen Effekt nachvollziehen, wenn im Brennfleck der Lupe durch das grelle Sonnenlicht Papier zu brennen beginnt. Der Laserstrahl kann nun zum Trennen und Verbinden, zum Abtragen und Aufbauen, zum Beschriften und noch für viel mehr Bearbeitungsarten verwendet werden.

www.weltderfertigung.de

