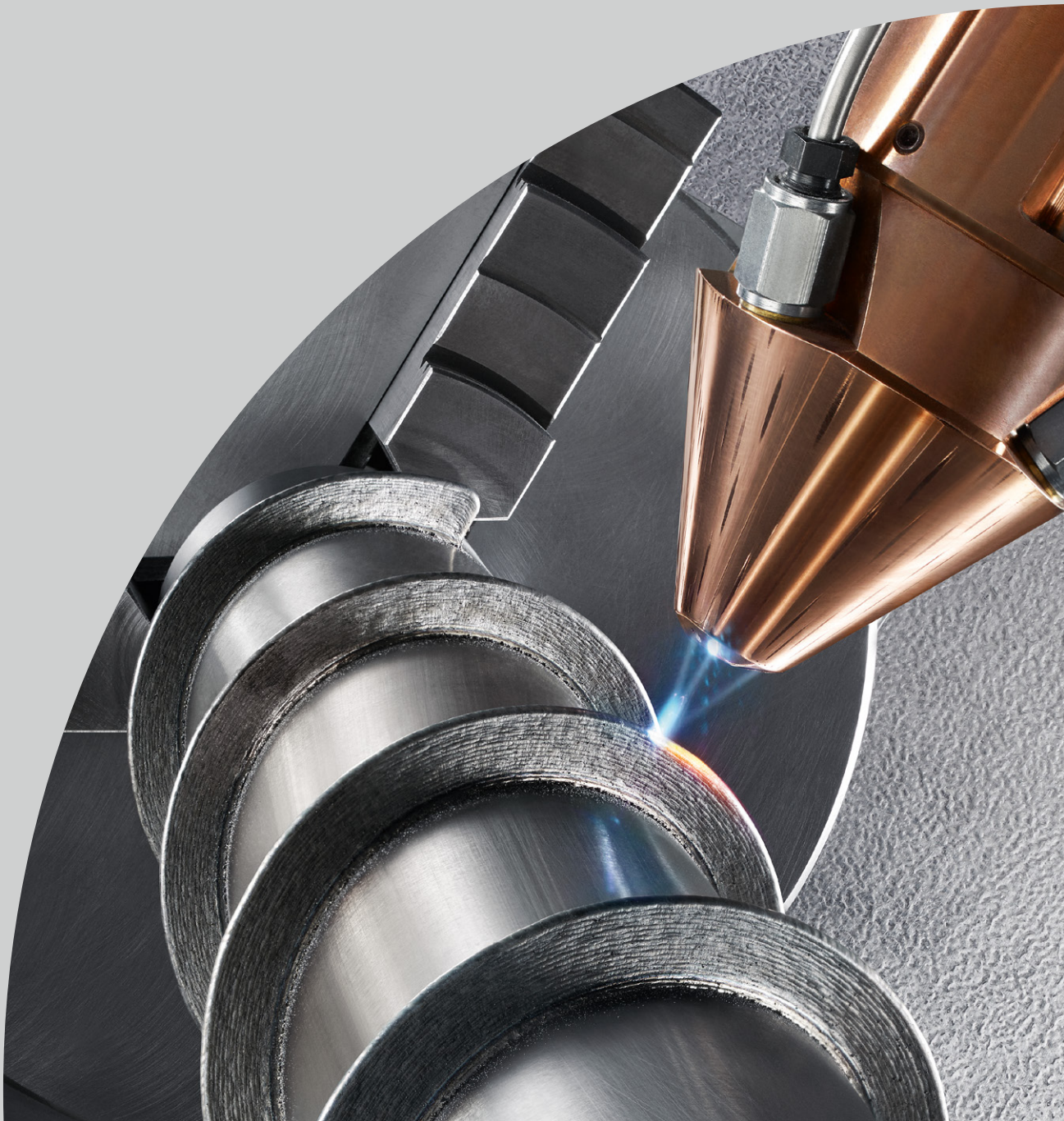
Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme
Machine Tools and Manufacturing Systems

VDMA

World of Laser Technology
Core of Photonics



15. Auflage 2021
15th Edition 2021

LASYS

International trade fair
for laser material processing

THE PLACE TO BEAM

21 to 23 June 2022
Messe Stuttgart, Germany

The solutions of tomorrow – experience them today: Live presentations and best practices of the laser technologies of the future.

Stay up-to-date!
www.lasys-fair.com
#LASYS

Inhalt *Contents*

Inhalt

02 Schlüsseltechnologie Laser

04 Lasertypen in der Materialbearbeitung

25 Lasersysteme

28 Märkte und Trends

32 Bezugsquellen-Nachweis

34 Unternehmensprofile

45 Impressum

46 Mitgliederverzeichnis

Contents

02 *Laser key technology*

04 *Types of Lasers for Material Processing*

25 *Laser systems*

28 *Markets and trends*

32 *List of suppliers*

34 *Company profiles*

45 *Imprint*

46 *List of members*

Schlüsseltechnologie Laser
Laser key technology

Die deutsche Laserindustrie verknüpft ein weites Feld inzwischen klassischer Anwendungen mit zukunftsweisenden Problemlösungen. Lasertechnik wirkt als „Innovationstreiber", mit breiter Kundenstruktur und positiver Ausstrahlung auf die Leistungsfähigkeit und das Arbeitsplatzangebot der Industrie insgesamt. Der Laser steht beim Schneiden, Schweißen, Bohren, Härten, Markieren, Strukturieren oder im Bereich generativer Verfahren, egal ob im Mikro- oder Makrobereich, für enorme Vielfalt denkbarer Produkte aus unterschiedlichsten Materialien. Ultrakurzpulslaser-Anwendungen und der Einsatz von Lasern, die Strahlung im extremen UV-Bereich emittieren, erweitern das Spektrum denkbarer Applikationen in der Elektronikindustrie signifikant. Stichworte sind hier die sogenannte „Kalte Bearbeitung" ohne Wärmeeintrag in den Werkstoff sowie die weitere Miniaturisierung elektronischer Bauteile.

Die Effizienz in der Produktion wird gesteigert, vor allem, wenn der Gesamt-Fertigungsprozess im Fokus liegt. Ressourcen schonend optimierter Materialeinsatz oder der aufgrund gesteigerter Bauteilqualität mit entsprechend weniger Nacharbeit mögliche Wegfall von Bearbeitungsschritten führen zu außerordentlich wettbewerbsfähigen Prozesswirkungsgraden und günstigen Gesamtkosten pro Bauteil. Die in der Regel besonders hohe Fertigungsgeschwindigkeit sowie große Flexibilität – mit dem Laser werden viele neue Produktdesigns erst machbar – gehen natürlich ebenfalls direkt in die Bauteilkosten mit ein.

Als Schlüsselbereich im Kreis der Optischen Technologien, heute besser als Photonik bekannt, liefert die Laserfertigungstechnik wertvolle Hinweise für die Ausgestaltung nationaler und europäischer Forschungspolitik. Das Forum Photonik im VDMA hat sich zum Ziel gesetzt, die Bedeutung der vertretenen Schlüsseltechnologien stärker im Bewusstsein der Öffentlichkeit zu verankern, denn noch immer ist die „Welt des Lichts" für viele Entscheider nicht hinreichend transparent. Sowohl in der Politik als auch im Kapitalmarkt ist auf ein ausgeprägtes Bewusstsein für die großen Chancen und künftigen Herausforderungen der Photonik

The German laser industry spans a wide field, from traditional applications to trend-setting solutions. Laser technology serves as an "innovation driver" with a broad customer structure and a positive ripple effect on productivity and jobs within the industry as a whole. In processes involving cutting, welding, drilling, hardening, marking and structuring or in the field of generative processes either in the micro or macro area, laser technology stands for top quality results, greatly flexible procedures and a huge variety in terms of conceivable products made from the widest possible range of materials. Applications based on ultrashort pulse lasers and lasers emitting radiation in the extreme UV range significantly broaden the reach of conceivable uses in the electronics industry. "Cold processing" without heat transfer into the material and taking the miniaturisation of electronic components further serve as descriptive catchwords in that respect.

The efficiency of production is increased, particularly when the focus is on the overall manufacturing process. A resource-friendly and optimised deployment of materials and the reduction of process steps thanks to increased component quality (with consequently lower levels of reworking) lead to exceptionally competitive levels of process efficiency and overall cost savings per component. It goes without saying that component costs further benefit from (generally very high) manufacturing speeds combined with flexibility being enhanced by lasers making many new product designs possible for the very first time.

As a key area in the field of optical technologies, today better known as photonics, laser production technology is providing valuable information for devising research policies at the national and European scale. The Photonics Forum of VDMA aims to boost the general public's awareness of the key technologies involved because the "World of Light" still lacks transparency for many decision-makers. In both the political arena and the capital markets, strong efforts are needed in order to establish a clear awareness of the tremendous opportunities and future challenges of photonics

hinzuarbeiten. Denn: Optische Schlüsseltechnologien bieten wie kaum ein anderer Wachstumstreiber die Möglichkeit, innovative Lösungen für die Märkte von Morgen zu generieren. In enger Kooperation mit den Unternehmen werden Weiterbildung und Sicherung des Bedarfs an qualifiziertem Nachwuchs für das Technologiefeld vorangebracht.

Die vorliegende Broschüre möchte einführend über verschiedene Laser-Strahlquellen und ihre charakteristischen Eigenschaften, über etablierte und absehbare Einsatzgebiete für Laseranlagen im Bereich der industriellen Materialbearbeitung sowie über weltweite Nachfrageentwicklungen informieren. Im Mittelpunkt stehen indessen ausführliche Unternehmensprofile von Mitgliedsfirmen der Arbeitsgemeinschaft „Laser und Lasersysteme für die Materialbearbeitung“ im VDMA, die den besonderen Kundennutzen ihrer Erzeugnisse aufzeigen möchten. Der vorangestellte Bezugsquellen-Nachweis in Matrixform erlaubt eine um weitere Unternehmen der Branche ergänzte, kompakte Übersicht bezüglich führender Hersteller und deren Programmstruktur.
Die Broschüre ist in erster Linie für Unternehmer und Führungskräfte aus potenziellen Anwenderfirmen von Laser-Fertigungstechnik gedacht, die im Vorfeld von Beschaffungsentscheidungen einen ersten Überblick wünschen.
Ein Großteil der Auflage wurde unmittelbar an Entscheidungsträger im Maschinen- und Anlagenbau, in der Automobil- und Elektroindustrie versendet. Deutsch- und englischsprachige Abfassung erlaubt breite Distribution auf Auslandsmessen. Auskünfte im Zusammenhang mit konkreten Applikationen erhalten Interessenten direkt bei den Firmen der Laserindustrie. Für grundsätzliche Fragen steht selbstverständlich die Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft zur Verfügung.

since very few other growth drivers provide the range of opportunities that key optical technologies offer for creating innovative solutions for tomorrow’s markets. VDMA and the enterprises join forces in their quest for training and recruiting young talent. What counts in this respect is the commitment to ensuring the supply of qualified young professionals for this innovative technological field.

This brochure sets out to provide information on the different laser sources and their inherent characteristics, on existing and emerging fields of laser system applications in the field of materials processing, and on world-wide trends of demand. The main focus of the brochure, however, is on the comprehensive company profiles of members of the VDMA‘s working group “Lasers and Laser Systems for Material Processing” that wish to showcase the benefits their products have for their customers. The matrix preceding the profiles lists sources of supply and several other companies in the industry as a concise overview of leading manufacturers and their product ranges. The brochure primarily intends to provide executives and managers of companies that may be potential users of laser manufacturing technology with an introductory overview and a basis of future purchasing decisions. Most of the copies of this brochure have been sent directly to decision-makers in the machinery and plant construction, automotive and electrical industries. Since the brochure is available in both German and English, it can be widely distributed at foreign trade fairs. Readers interested in more information on using lasers as a solution to specific problems may obtain this information directly from companies in the laser industry. The office of the working group is looking forward to answering any fundamental questions.

Lasertypen in der Materialbearbeitung
Types of Lasers for Material Processing

Für die Materialbearbeitung steht heute eine Vielzahl unterschiedlicher Laser, mit einem nahezu unerschöpflichen Spektrum an Leistungen, Wellenlängen und Pulseigenschaften bereit. Je nach Anwendungsgebiet kommen in der Materialbearbeitung Laser mit einer mittleren Strahlleistung zwischen rund einem Watt und 12.000 Watt zum Einsatz, in Einzelfällen auch darüber. Die Laser werden im Dauerstrichbetrieb oder im Pulsbetrieb eingesetzt, wobei das Spektrum der gepulsten Laser von ultrakurzen Pulsen im Femto- und Pikosekundenbereich, über Nanosekunden bis zu Millisekunden reicht.

Die Festkörperlaser, mit Faser, Scheibe oder Stab als aktivem Medium, bieten eine besonders große Produkt- und Parametervielfalt. Ein breites Spektrum von Wellenlängen vom Infrarot über den sichtbaren Wellenlängenbereich bis zum Ultravioletten steht heute zur Verfügung. Je nach Ausführungsform können Festkörperlaser in einem extrem weiten Leistungs- und Pulsdauerbereich betrieben werden.

Diodenlaser, die in der Materialbearbeitung eingesetzt werden, emittieren typischerweise Licht um einen Mikrometer Wellenlänge.

Today's material processors can choose from many different lasers, with an almost unlimited spectrum of power outputs, wavelengths and pulse properties. In industrial applications, lasers range between about one and 12,000 watts of average beam power and may sometimes be even higher. Lasers generate either continuous wave or pulsed beams, with pulsed beams ranging from ultrashort femtosecond and picosecond to nanosecond and millisecond pulses.

Solid state lasers, whose active medium is either a fibre, a disc or a rod, offer a particularly multifaceted choice of products and options. These models are available at wavelengths from the infrared to the visible and ultraviolet wave ranges. Depending on the actual make, solid state lasers are able to operate in an extremely broad range of beam powers and pulse durations.

The light emitted by diode lasers, which are used for material processing, generally have a wavelength of about one micrometre.

Spritzerarmes Schweißen von Getrieberädern
Low-spatter welding of gear wheels

Sie arbeiten im Dauerstrichbetrieb mit hoher Energieeffizienz. Blaue Diodenlaser im sichtbaren Wellenlängenbereich von 450 nm erzeugen bis zu 2 kW cw Laserleistung und eignen sich zur Bearbeitung von hochreflektierenden Metallen wie Kupfer oder Gold.

CO_2-Laser emittieren Licht mit einer Wellenlänge von rund 10 µm, die für eine Reihe von Anwendungen, insbesondere bei der Bearbeitung nichtmetallischer Werkstoffe, optimal ist.

Das Licht von Excimerlasern ist gepulst und liegt im ultravioletten Bereich von 157 bis 351 Nanometern. Excimerlaser werden vor allem in der Mikromaterialbearbeitung eingesetzt.

Neben den genannten Laserparametern sind weitere Auswahlkriterien wie die Strahlqualität oder die Leistungseffizienz von Bedeutung. Auch die Tatsache, dass sich Laserlicht im Wellenlängenbereich von rund einem Mikrometer über Glasfaserkabel übertragen lässt, ist für viele Anwendungen von großem Vorteil.

These lasers operate in continuous wave mode and are highly power-efficient. Blue diode lasers in the visible wavelength range of 450 nm generate up to 2 kW cw of laser power and are suitable for processing highly reflective metals such as copper or gold.

CO_2 lasers emit light waves about 10 µm long, which is the perfect length for various applications, particularly when it comes to processing non-metal materials.

Excimer lasers emit pulsed light in the ultraviolet range between 157 nanometres and 351 nanometres. They are mainly used for micromaterial processing.

Apart from the above factors, criteria such as beam quality or power efficiency are of particular significance when selecting a laser. Many applications also benefit greatly from the fact that fibre optic cables easily conduct laser light in the wave range of around one micrometre.

Laserschneiden

Der Laser bewältigt unterschiedlichste Schneidaufgaben. Sie reichen von der mikrometergenauen Schnittfuge im hauchdünnen Halbleiterchip bis zum Qualitätsschnitt im 50 mm dicken Baustahl.

Das Laserschneiden wird dort eingesetzt, wo komplexe Umrisse, eine präzise, schnelle Verarbeitung und nahezu kraftfreie Bearbeitung unterschiedlichster Materialien gefragt sind. Mit Hilfe des Lasers können schmale Schnittfugen erzielt und somit Teile präzise geschnitten werden. Das Verfahren ist verzugsarm und macht in vielen Fällen Nacharbeiten überflüssig, da wenig Wärme in das Bauteil eindringt, und die meisten Materialien gratfrei geschnitten werden.

Geschnitten werden nahezu alle metallischen Werkstoffe, wobei Baustahl, Edelstahl und Aluminium den wesentlichen Anteil ausmachen. Andere Werkstoffe, die mittels Lasertechnik geschnitten werden, sind u.a. Holz, Kunststoffe, Glas und Keramik.

Konventionelle Glasbearbeitung basiert auf einer schnellen Erhitzung, die das Material verdampfen lässt. Dieses Verfahren führt häufig zu Mikrorissen, Absplitterungen und einer rauen Schnittfläche, wodurch zeit- und kostenintensives Schleifen und Polieren notwendig wird, was den Durchsatz verringert. Moderne Systeme verwenden ultrakurze Laserpulse im Picosekundenbereich, welche das Glas durch Nanoperforation trennen. Diese Art des Laserschneidens bietet einige entscheidende Vorteile.

Da die Rauigkeit der Schnittfläche < 2 µm ist, kann das Glas in den meisten Fällen sofort weiterverarbeitet werden, ohne dass teure und zeitaufwändige Nachbearbeitungen notwendig sind. Die mittels Nanoperforation geschnittenen Gläser haben eine höhere Bruchfestigkeit als Glas, das mit konventionellem Laser oder mechanischen Verfahren geschnitten wird. Der Laserprozess eignet sich für gehärtetes und ungehärtetes Glas, ebenso wie für transparente, kristalline Materialien.

Laser cutting

Lasers readily handle a wide variety of cutting tasks, from micrometre-precise kerfs in wafer-thin semiconductor chips to quality cuts in stainless steel 50 mm thick.

Laser cutting is used wherever complex shapes require precise, fast and nearly force-free processing of different materials. Laser cuts are marked by their narrow kerf which results in accurately cut parts. This method generates a minimum of warp and normally requires no reworking because very little heat is emitted into the part and most materials are cut without leaving any burrs.

Whereas lasers are used to cut almost any metallic materials, structural and stainless steel and aluminium make up the largest share. Other materials cut by laser include wood, plastic materials, glass and ceramics.

Conventional glass cutting is based on rapid heating processes, leading to vaporization and material removal. This method tends to create micro-cracks, chip-outs and a rough surface finish, which makes time consuming and costly subsequent grinding and polishing steps necessary, leading to low production yields. Modern systems using ultra-short laser pulses in the picosecond range to cut glass by disassociation rather than ablation. This laser glass cutting technology provides numerous benefits.

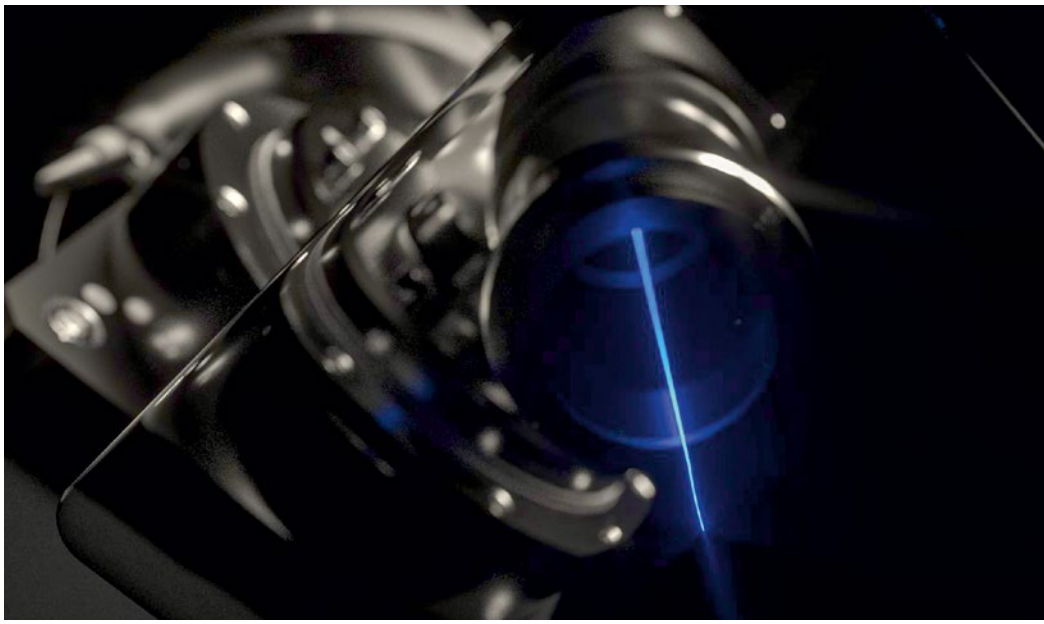
With an 'as cut' edge roughness at < 2 µm, in most cases the cut glass can be used for subsequent processing without additional intermediate steps for time and cost consuming post-processing. Glass pieces cut by disassociation also have superior break strength behavior, compared to items cut by other laser methods and conventional mechanical glass cutting processes. The laser process enables cutting strengthened glass, un-strengthened glass, as well as other transparent glass and crystalline materials.

Diese Laserbearbeitung wird heute in der Serienfertigung von Touchscreen Displays für Smartphones, Tablet PCs und andere Consumer-Produkte eingesetzt und in Zukunft auch im Bereich der 3D-geformten Glasprodukte möglich sein.

It is today commonly used in high volume production of touchscreen displays for smart phones, tablet PCs and other consumer products and going forward also be made available for 3D-fomed glass products.

Das volumenmäßig wichtigste Einsatzgebiet des Laserschneidens ist das Trennen von Stahlblechen. Diese Anwendung gehört zum Stand der Technik, und der größte Teil der Laser hoher Leistung wird heute hierfür verwendet. Im Materialdickenbereich bis 30 mm hat der Laser aufgrund der Flexibilität und der Einfachheit der Konturprogrammierung bei kleineren und mittleren Losgrößen in vielen Fällen konventionelle Verfahren wie Stanzen oder Fräsen verdrängt. Auch Aluminium, Messing und Kupfer lassen sich bei geringeren Wanddicken (Aluminium: 20 mm, Messing: 12 mm) erfolgreich bearbeiten. Eine weitere Anwendung ist das Ablängen und räumliche Schneiden von Rohren und Profilen. Weitere Anwendungen für räumliches Schneiden finden sich z. B. in der Automobilindustrie, hier vor allem bei warmumgeformten hochfesten Stählen.

In terms of processing volume, the separation of steel sheets is the most important area of application by far. This application reflects the state of the art of laser cutting and is also the predominant area for today's high-power lasers. Owing to the flexibility and ease of programming any shape, lasers have ousted conventional methods, such as punching or milling, for processing small to medium lot sizes of materials up to 30 mm thick. The same applies to the successful processing of aluminium, brass and copper, albeit at thinner wall thicknesses (aluminium: 20 mm, brass: 12 mm). Other fields of application are the cutting to length and 3D cutting of pipes and profiled parts or the 3D shaping of hot-formed high-strength steels, mainly for parts used in the automotive industry.



Glas-Schneiden in der 3. Dimension
Glass Cutting in the 3rd dimension

Mit Lasern lassen sich auch feinste Schnitte mit bis zu < 0,01 mm Breite und Bohrungen bis hinunter zu einem Durchmesser von ca. 50 µm realisieren.

Das Trennen mit Laserstrahlung wird in drei verschiedene Prozesse eingeteilt: Schmelzschneiden, Brennschneiden, Sublimationsschneiden.

Das Laserschmelzschneiden trennt alle schmelzbaren Werkstoffe wie beispielsweise Metalle. Als Schneidgas dient beim Laserschmelzschneiden Stickstoff oder Argon. Es wird mit Drücken zwischen 2 und 20 bar durch die Schnittfuge getrieben. Argon und Stickstoff sind inerte Gase. Sie reagieren nicht mit dem aufgeschmolzenen Metall im Schnittspalt, sondern blasen es nur nach unten aus. Gleichzeitig schirmen sie die Schnittkante von der Luft ab. Die Kanten bleiben oxidfrei und müssen nicht mehr nachbearbeitet werden. Allerdings steht zum Schneiden allein die Energie des Laserstrahls zur Verfügung. In dünnen Blechen ist die Schneidgeschwindigkeit höher als beim Brennschneiden. Bei größeren Blechdicken und beim Einstechen ist die Prozessgeschwindigkeit gegenüber dem Brennschneiden reduziert.

Sowohl CO_2- als auch Festkörperlaser (Faser- und Scheibenlaser) werden für das Blechschneiden eingesetzt, wobei CO_2-Laser insbesondere bei dickeren Blechen eine bessere Kantenqualität erzeugen.

Das Brennschneiden benötigt Sauerstoff als Schneidgas. Der Sauerstoff wird mit Drücken von bis zu 6 bar in die Schnittfuge geblasen. Dort reagiert das erwärmte Metall mit dem Sauerstoff: Die Oxidation setzt sehr viel Energie frei – bis zum Fünffachen der Laserenergie – und unterstützt den Laserstrahl. Brennschneiden erlaubt hohe Schneidgeschwindigkeiten und das Bearbeiten dicker Bleche. Baustahl lässt sich beispielsweise in Dicken bis 50 mm schneiden.

Wie beim Laserschmelzschneiden werden sowohl CO_2- als auch Festkörperlaser grundsätzlich für diese Applikation eingesetzt, wobei sich auch beim Laserbrennschneiden CO_2-Laser besser als Strahlquelle für dickere Materialstärken eignen.

Lasers are also able to produce extremely fine cuts down to less than 0.01 mm wide and holes down to a diameter of about 50 µm.

There are three process categories of cutting by laser beam: fusion cutting, thermal cutting, sublimation cutting.

Fusion cutting by laser cuts all fusible materials, e.g. metals. Nitrogen or argon is used as cutting gas and is pressed through the kerf at pressures between 2 bar and 20 bar. Argon and nitrogen are inert gases which do not react with the molten metal but only blow it downward and out of the kerf while shielding the cutting edge from the air. Although the edges remain free from oxides and do not require any touching up afterwards, cutting is solely based on the energy transferred by the laser beam. Whereas, in thin metal sheets, fusion cutting works faster than thermal cutting, it is slower in thicker sheets and when piercing or grooving the material.

Both CO_2 and solid state lasers (fibre and disc) are used for cutting metal sheets, but CO_2 lasers produce higher-quality edges, particularly in thicker sheets.

Thermal cutting uses oxygen as the cutting gas, which is blown into the kerf at pressures up to 6 bar such that the heated metal can react to the oxygen. Oxidation releases a lot more energy than the laser – up to five times as much – and supports the effect of the laser beam. Thermal cutting is fairly fast and can be used for handling thick metal sheets. Structural steel, for example, can be cut even if thicker than 50 mm.

Like fusion cutting by laser, both the CO_2 and the solid state laser are generally used for this application. Again, CO_2 lasers have proven to be the better beam source for processing thicker materials.

In einigen roboterbasierten Schneidanwendungen kommen neben Festkörperlasern auch Diodenlaser zum Einsatz.

Das Sublimierschneiden bietet hochwertige Schnittkanten für feine Schneidaufgaben. Bei diesem Verfahren verdampft der Laser das Material möglichst schmelzarm. Der Materialdampf erzeugt dabei in der Schnittfuge einen hohen Druck, der die Schmelze nach oben und unten herausschleudert. Das Prozessgas, Stickstoff, Argon oder Helium, schirmt die Schnittflächen lediglich von der Umgebung ab. Es sorgt dafür, dass die Schnittkanten oxidfrei bleiben. Aus diesem Grund genügt ein Gasdruck von 1 bis 3 bar. Metall zu verdampfen erfordert mehr Energie als es zu schmelzen. Deshalb benötigt Sublimierschneiden hohe Leistungsdichten und ist langsamer als andere Schneidverfahren. Dafür erzeugt es hochwertige Schnittkanten. In der Blechbearbeitung wird das Verfahren kaum angewendet. Erst dort, wo die Schneidaufgaben besonders fein sind, wird dieses Verfahren attraktiv.

Die hier angewandten Laser sind zumeist gepulste Festkörperlaser für Metalle, Keramiken oder Diamant sowie CO_2-Laser für Keramiken und Kunststoffe. Reines Sublimationsschneiden, d. h. der direkte Übergang vom festen in den gasförmigen Zustand, tritt beim Schneiden von Plexiglas und Holz auf.

Mit Lasern können auch feine Schnitte mit bis zu < 0,01 mm Breite und das Schneiden filigraner Konturen realisiert werden. Je nach Anwendung kommen gepulste Laser oder Dauerstrichlaser im Grundmodebetrieb zum Einsatz. Alle Metalle, auch hochreflektierende, können geschnitten werden. Bis hinunter zu einem Durchmesser von ca. 50 µm werden mittels gepulster Laser Bohrungen präzise eingebracht. Für kleinere Bohrungen bei Werkstoffen, die mechanisch nur mit hohem Zeitaufwand und Werkzeugverschleiß hergestellt werden können, ist der Laser unvergleichlich wirtschaftlicher, wenn Toleranzen von einigen Prozenten in der Bohrungsgeometrie zulässig sind.

Some installations involving robots supplement the solid state lasers with diode lasers.

Sublimation cutting is the perfect choice wherever precision cutting tasks require high-quality cutting edges. In this process, the laser vaporises the material with as little fusion as possible. The vaporised material generates a high pressure in the kerf which ejects the molten material towards the top and bottom. The process gas – nitrogen, argon or helium – only shields the cut surfaces from the environment, which prevents them from oxidising. This is achieved at lower gas pressures between 1 and 3 bar. Since it takes more energy to vaporise metal than to melt it, sublimation cutting requires high power density requirements. Although it is slower than other cutting methods, it excels in producing high-quality cutting edges. This method is hardly used for processing metal sheets, but is the prime choice when it comes to precision cutting.

Sublimation cutting mainly relies on pulsed solid state lasers for metals, ceramics or diamonds and on CO_2 lasers for ceramic and plastic materials. Sublimation cutting, in the true sense of the word, i.e. immediately changing a material's state from solid to gaseous, occurs when cutting Perspex or wood.

Lasers are also able to produce very fine cuts down to less than 0.01 mm wide and to cut delicate shapes. Pulsed or continuous wave (CW) lasers are run in basic mode for various applications. They cut all metals, including highly reflecting metal materials. Pulsed lasers accurately cut holes of diameters as minute as about 50 µm. Provided that the geometry of the hole tolerates deviations of a few of per cent, the economic efficiency of lasers is unrivalled compared to mechanically cutting time-consuming small-diameter holes into certain materials at the cost of high tool wear.

Laserschweißen

Der Laserstrahl bietet verschiedene Möglichkeiten, um Metalle zu fügen. Er kann Werkstücke an der Oberfläche verbinden oder tiefe Schweißnähte erzeugen. Mit dem Laser lassen sich sowohl Werkstoffe mit hoher Schmelztemperatur als auch mit hoher Wärmeleitfähigkeit schweißen. Das Laserschweißen von Stählen und Aluminium, zunehmend auch von Kupferlegierungen, sind die wichtigsten Anwendungen. Aufgrund der kleinen Schmelze und der kurzen Schmelzdauer kann der Laser mitunter sogar Werkstoffe verbinden, die sonst nicht schweißbar sind.

Laserschweißen bedeutet das Fügen mit einzelnen Laserpulsen oder im Dauerstrichbetrieb. Der Laser setzt kleinste Schweißpunkte mit Durchmessern unter 0,1 mm bis hin zu langen Schweißnähten in bis zu 25 mm starken Blechen. Die verwendete Durchschnittsleistung der eingesetzten Laser umspannt dabei einen Bereich von ca. 20 Watt bis mehr als 10 Kilowatt.

Das Laserschweißen wird vor allem zum Fügen von Bauteilen eingesetzt, die mit hoher Schweißgeschwindigkeit, schmaler und schlanker Schweißnahtform und mit geringem thermischem Verzug gefügt werden müssen. Die hohen Schweißgeschwindigkeiten, eine vorzügliche Automatisierbarkeit und die Möglichkeit der Online-Qualitätsbeobachtung während des Prozesses machen das Laserschweißen zu einem weit verbreiteten Fügeverfahren in der modernen industriellen Fertigung. Das Anwendungsspektrum reicht vom Feinstschweißen porenfreier Nähte in der Medizintechnik, über das Präzisions-Punktschweißen in der Elektrotechnik oder der Schmuckindustrie, vom Auftragsschweißen im Werkzeug- und Formenbau bis hin zum Verschweißen von Komponenten des Antriebstrangs oder ganzer Karosserien in der Automobilindustrie.

Bei der Transformation der Automobilindustrie zur Elektromobilität macht erst das Laserschweissen die hocheffiziente Serienfertigung von Batterie, Elektromotor und Hochleistungselektronik möglich.

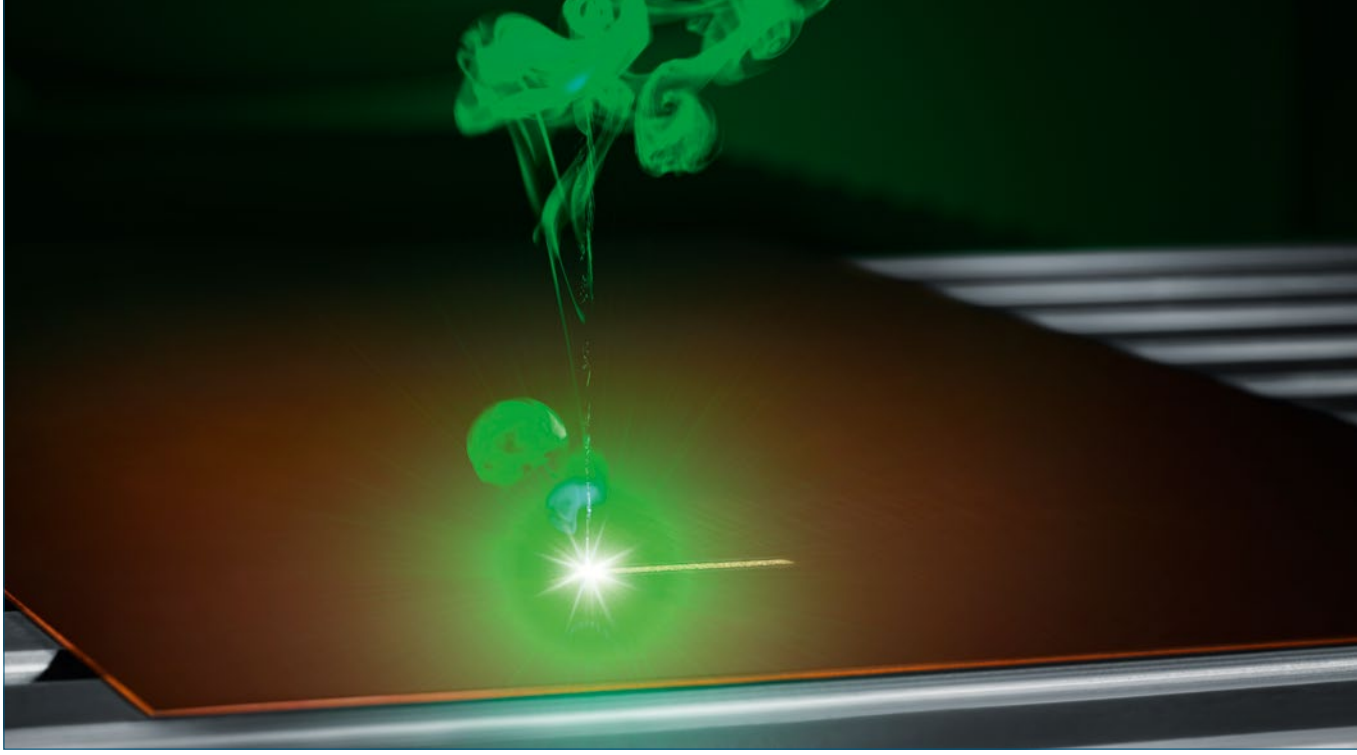
Laser welding

Laser beams provide various options for joining metals. They are able to connect the part surfaces or produce deep weld joints. Lasers are a good choice for welding materials with high melting points and materials of high thermal conductivity. Predominant laser welding applications include the welding of steel and aluminium and, to an increasing degree, of copper alloys. Owing to the small amount of molten material and the short fusing time, lasers may sometimes even connect materials which cannot be welded by other methods.

Laser welding is the joining of parts by laser pulses or in continuous wave mode. Lasers place either very small welding spots of diameters smaller than 0.1 mm or continuous long weld seams in metal sheets up to 25 mm thick. The average laser performance ranges from about 10 watts to more than 20 kilowatts.

Laser welding is mainly used to join parts that require high welding speeds, narrow and lean weld seams and little thermal warpage. Its high welding speeds, high-level automation-readiness and online in-process quality monitoring options have made laser welding a very common joining method in today's industrial production. Practical applications range from highly accurate seams without pores demanded by the medical technical industry to precision spot welding for electrical engineering or industrial jewellery production, and from deposit welding for mould and die making to the welding of drive train components or complete car bodies for the automotive industry.

In the transformation of the automotive industry to electromobility, only laser welding makes the highly efficient series production of battery, electric motor and high-performance electronics possible.



Kupferschweißen mit grüner Wellenlänge
Copper welding with green wavelength

Beim Laserschweißen unterscheidet man zwei wesentliche Prozesse, das Wärmeleitungsschweißen und das Tiefschweißen.

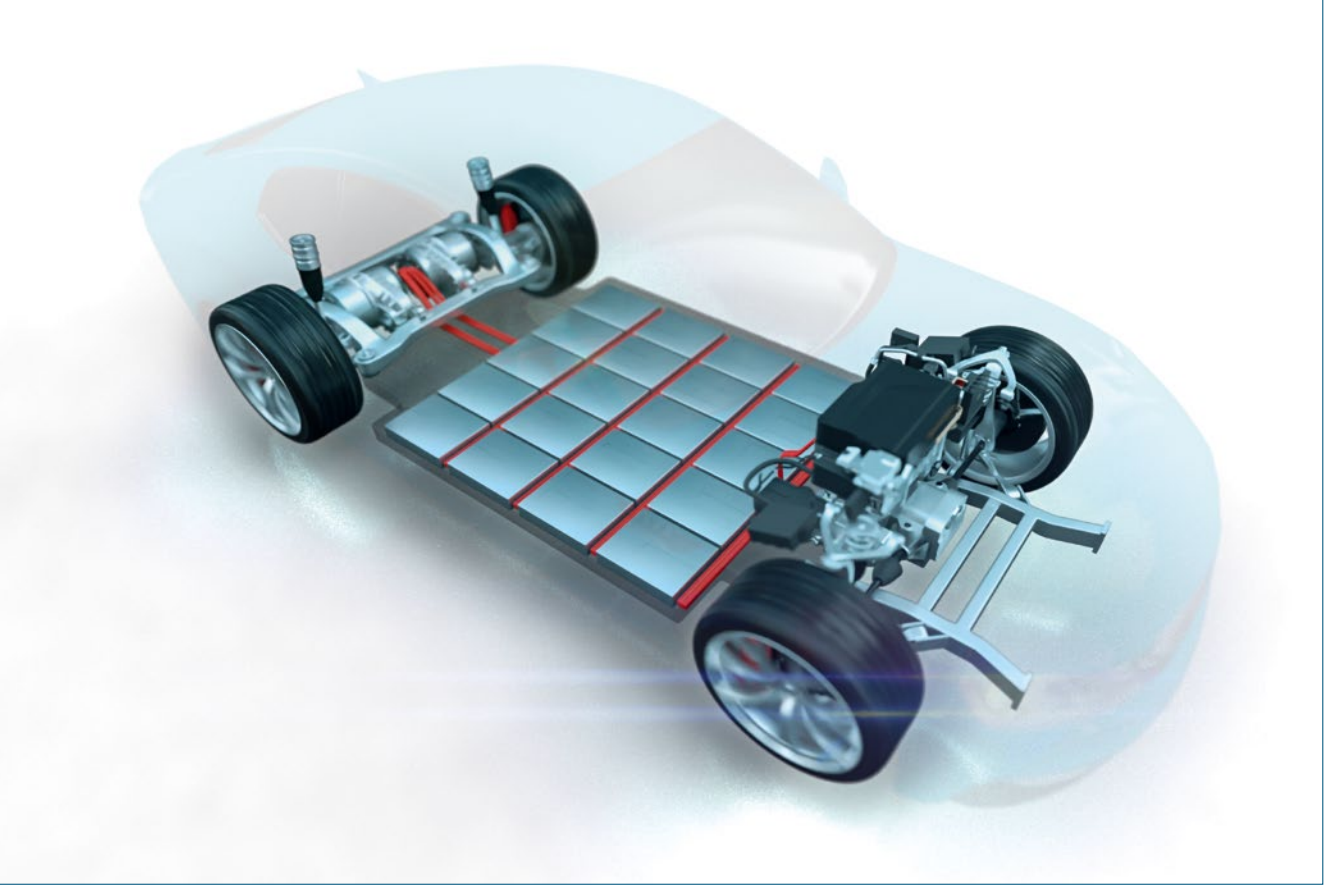
Beim Wärmeleitungsschweißen schmelzen die zu verbindenden Materialien durch Absorption des Laserstrahls an der Materialoberfläche. Die Schmelzen fließen ineinander und erstarren zur Schweißnaht. Die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs begrenzt die maximale Nahttiefe, die nur einige Zehntelmillimeter bis ca. 1 mm beträgt. Die Nahtbreite ist dabei in der Regel größer als die Nahttiefe. Wärmeleitungsschweißen wird angewendet, um dünnwandige Teile zu verbinden, zum Beispiel für Ecknähte an Sichtkanten von Gehäusen. Weitere Anwendungen finden sich in der Elektronik. Der Laser erzeugt eine glatte, abgerundete Schweißnaht, die nicht mehr nachbearbeitet werden muss. Für diese Anwendungen eignen sich gepulste oder dauerstrichbetriebene Festkörperlaser.

Das Tiefschweißen, bei Energiedichten ab etwa 1 Megawatt pro Quadratzentimeter, beruht auf der Erzeugung einer Dampfkapillare im Material. Der Laserstrahl schmilzt das Metall nicht nur auf, sondern erzeugt auch Dampf. Ein tiefes, schmales, dampfgefülltes Loch bildet sich: eine Dampfkapillare – auch Keyhole genannt. Die Dampfkapillare ist von Metallschmelze umgeben. Wenn sich der Laserstrahl über die Fügestelle bewegt, bewegt sich die Dampfkapillare mit ihm durch das Werkstück.

Laser welding is broken down into two major processes: heat conduction welding and penetration welding.

Heat conduction welding melts the materials to be joined by absorbing the energy of the laser beam on the material surface. The molten materials then flow into one another and set to make the weld joint. Weld seams may be just a few tenths of a millimetre up to about 1 mm deep, depending on the material's thermal conductivity. The seam width is normally greater than the seam depth. Heat conduction welding is the method of choice for joining thin-walled parts such as corner joints along visible housing edges. The electronics industry also frequently relies on it. Lasers produce a smooth, rounded weld seam which requires no further rework. Both pulsed and CW solid state lasers are suitable tools.

Deep penetration welding at an energy density of about 1 megawatt per square centimetre or higher is based on generating a vapour capillary in the material. Apart from melting the metal, the laser beam also generates vapour and forms a deep, narrow hole filled with vapour: a vapour capillary, also referred to as keyhole, which is surrounded by molten metal. As the laser beam moves across the joining point, the keyhole moves with it through the workpiece.



Neue Lasertechnologien wie der Coherent ARM Laser ermöglichen auch das Schweißen von Herausfordernden oder ungleichen Materialien
New laser technologies such as the Coherent ARM laser enable welding of challenging or dissimilar materials

Die Metallschmelze umfließt die Dampfkapillare und erstarrt an der Rückseite. Der einfallende Laserstrahl wird durch Totalreflexion im Keyhole tief in das Material geführt.

Auf diese Weise bildet sich eine schmale, tiefe Schweißnaht mit gleichmäßigem Gefüge. Die Nahttiefe ist bis zu 60 Mal größer als die Nahtbreite und kann bis zu 25 mm betragen. Tiefschweißen zeichnet sich daher durch einen hohen Wirkungsgrad und hohe Schweißgeschwindigkeiten aus. Dank der hohen Geschwindigkeit ist die Wärmeeinflusszone klein und der Verzug gering. Das Verfahren wird angewendet, wenn hohe Einschweißtiefen gefordert sind oder mehrere Werkstofflagen auf einmal geschweißt werden sollen.

Für das Laserschweißen kommen je nach Anwendung verschiedene Lasertypen zum Einsatz.

The molten metal flows around the keyhole and sets at its back. Total internal reflection in the keyhole guides the laser beam deeply into the material, leaving behind a narrow and deep weld seam with a smooth structure.

The seam depth can be up to 25 mm and thus up to 60 times larger than the seam width. Deep penetration welding therefore excels in its high efficiency and welding speed, the latter accounting for a small heat affected zone and a minimum amount of warpage. This method is chosen for deep weld seams and if several layers of material are to be welded at once.

Laser welders can choose from various types of lasers to accommodate the task at hand.

Im Kilowattbereich bieten Festkörperlaser (Faser- und Scheibenlaser) eine hohe Strahlqualität verbunden mit einer hohen Leistungseffizienz. CO_2-Laser bieten durch ihre längere Wellenlänge bei einem Teil der Anwendungen Vorteile hinsichtlich der Bearbeitungsqualität. Diodenlaser bieten die höchste Leistungseffizienz bei Anwendungen wie beispielsweise dem Schweißen von Aluminium und Stahl im Karosseriebau, oder aber auch beim Schweißen von Tailored Blanks.

Für die Elektromobilität spielt der Werkstoff Kupfer als hervorragender Stromleiter eine zentrale Rolle. Faserlaser mit speziellen Strahlprofilen wie innerem Center-Strahl und äußerem Ring-Strahl ermöglichen auch die Bearbeitung herausfordernder Materialien wie das Tief- und Wärmeleitungsschweißen von hochreflektivem Kupfer oder hochfesten Materialien nahezu ohne Spritzer und Rissbildung. Dabei stabilisiert der äußere Ringstrahl das Schmelzbad und ermöglicht perfekte Schweißergebnisse.

Zum Schweißen des im infraroten Wellenlängenbereich hochreflektierenden Materials Kupfer stehen auch Laser mit kurzen Wellenlängen zur Verfügung. Auf Basis der Scheibenlasertechnologie wurden Laser mit 515 Nanometer Wellenlänge, also im grünen Spektralbereich, entwickelt. Mit bis zu 2 kW Ausgangsleistung und einer Strahlqualität von 2 mm mrad erlauben diese eine hervorragende Schweißnahtqualität bei hoher Energieeffizienz selbst bei hochreflektierenden Werkstoffen wie Kupfer. In der Leistungselektronik ermöglicht dies bei geringer Spritzerbildung sichere Verbindungen hoher Zuverlässigkeit.

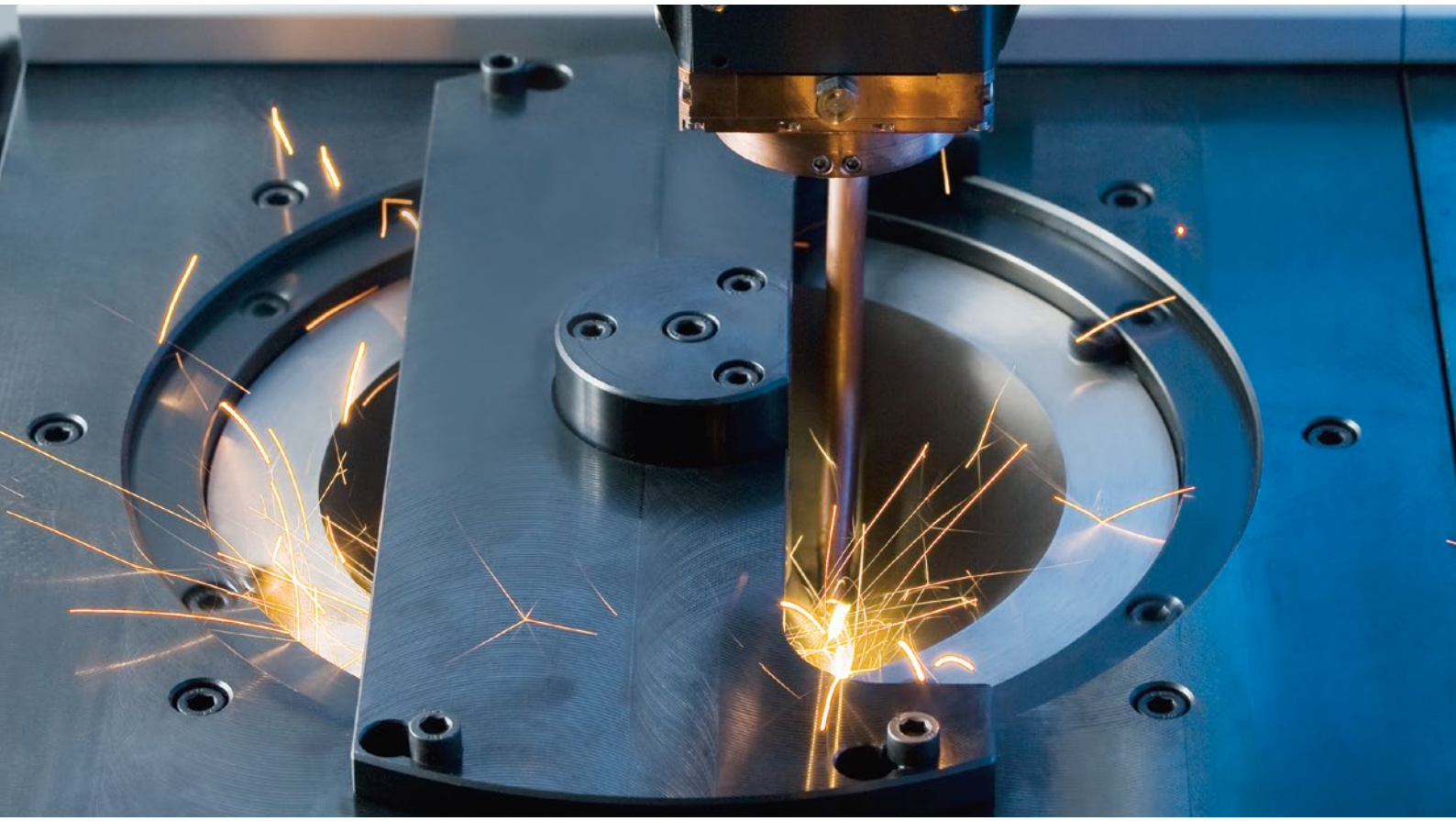
Auch der Einsatz blauer Diodenlaser eröffnet neue Möglichkeiten für das spritzerfreie, qualitativ hochwertige Wärmeleitschweißen von Kupfer sowie die effektive Bearbeitung von Gold und anderen Buntmetallen insbesondere für Anwendungen in der Elektromobilität. In neuen Prozessansätzen führt die Kombination der blauen Diodenlaserstrahlung mit einem Laser im infraroten Wellenlängenbereich in einem Hybridkonzept zu sehr stabilen und nahezu spritzerfreien Tiefschweißprozessen. Hierbei stabilisiert der blaue Laser den Prozess bei tiefen Einschweißungen.

In the kilowatt range, solid state lasers (fibre and disc) provide a high-quality beam and excellent power efficiency. Owing to the longer wavelength, CO_2 lasers benefit some applications with a higher final quality. Diode lasers have the highest power efficiency in applications such as the welding of aluminium and steel for car bodies or the welding of tailored blanks.

Copper plays a central role in electromobility as an excellent plays a central role as an excellent conductor of electricity. Fibre lasers with special beam profiles such as inner centre beam and outer ring beam also enable the processing of challenging materials such as deep and heat conduction welding of highly reflective copper or high-strength materials with virtually no spattering or cracking. The outer ring beam stabilises the molten pool and enables perfect welding results.

Lasers with short wavelengths are also available for welding copper, a material that is highly reflective in the infrared wavelength range. On the basis of disk laser technology, lasers with 515 nanometre wavelength, i.e. in the green spectral range, were developed. With up to 2 kW output power and a beam quality of 2 mm mrad, these lasers allow excellent weld seam quality with high energy efficiency even with highly reflective materials such as copper. In power electronics, this enables reliable connections with low spatter safe, highly reliable connections with low spatter formation.

The use of blue diode lasers also opens up new possibilities for spatter-free, high-quality heat conduction welding of copper as well as the effective processing of gold and other non-ferrous metals, especially for applications in electromobility. In new process approaches, the combination of blue diode laser radiation with a laser in the infrared wavelength range in a hybrid concept leads to very stable and almost spatter-free deep welding processes. Here, the blue laser stabilises the process for deep welds.
Precision spot and seam welders can also choose



Automatisiertes Laserschweißen von Synchron-/und Zahnrädern
Automated laser welding of synchronous gears and gear wheels

Für das Punkt- und Nahtschweißen im Feinbereich steht ebenfalls eine breite Palette von Laserquellen zur Verfügung. Dies umfasst im Dauerstrich betriebene, diodengepumpte Festkörperlaser ebenso wie gepulste Festkörperlaser. Beim sogenannten Scannerschweißen erfolgt die Strahlführung über bewegliche Spiegel. Durch die Winkeländerungen der Spiegel wird der Strahl geführt.

Es entsteht ein Bearbeitungsfeld, in dem hochdynamisch und präzise geschweißt werden kann. Durch das Verfahren eines zusätzlichen Linsensystems kann der Fokuspunkt auch in Z-Richtung äußerst dynamisch verschoben werden. Damit können dreidimensionale Bauteile ohne Bewegung des Bearbeitungskopfes oder des Bauteils vollständig bearbeitet werden. Durch die sehr schnellen Versatzbewegungen entfallen Nebenzeiten weitgehend, und das Lasergerät kann in fast 100 Prozent der verfügbaren Fertigungszeit produzieren.

from many different laser sources, including continuous wave or diode-pumped solid state lasers and pulsed solid state lasers. In the case of so-called scanner welding, moving mirrors guide the beam. Changing the angle of the mirrors also changes the direction of the laser beam.

The resulting processing area supports highly dynamic and accurate welding operations. Adding a system of lenses lets operators move the focal point along the Z axis in a highly dynamic manner. This allows the complete machining of three-dimensional parts without having to move the processing head or the part. Very fast movements minimise downtimes such that the laser unit's productive time equals almost 100 per cent of the available production time.
Beam sources are either fibre or disc lasers. Flexible

Als Strahlquellen kommen Faser- und Scheibenlaser zum Einsatz. Flexible Laserlichtkabel führen dabei das Laserlicht vom Laser zu den Bearbeitungsstationen.

Beim Auftragsschweißen werden der Zusatzstoff, wie z.B. Draht oder Pulver, und der Grundwerkstoff durch die Laserstrahlung aufgeschmolzen und metallurgisch verbunden. Das Auftragschweißen wird bei der Reparatur oder Modifikation bestehender Bauteile und der Veredelung von Oberflächen eingesetzt.

Durch manuelles Laserauftragschweißen mit Zusatzdraht lassen sich Schäden reparieren, lokal die Verschleißbeständigkeit verbessern, kleine Designänderungen vornehmen und Fertigungsfehler korrigieren. Der Laserstrahl verschweißt einen manuell geführten Zusatzdraht punktgenau und hochfest mit dem Werkstück. Es lassen sich Flächenaufträge mit Drahtdurchmessern von 0,1 mm bis 0,8 mm realisieren. Das automatisierte Laserauftragschweißen, zumeist mit pulverförmigen Zusatzstoffen, dient ebenfalls zum Reparieren unterschiedlichster Komponenten, wird aber auch zum Auftragen von Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten eingesetzt. Das Pulverauftragschweißen findet seine Einsatzgebiete in Branchen wie dem Werkzeug- und Formenbau, in der Öl- und Gasindustrie sowie in der Luft- und Raumfahrt oder dem Automobilbau.

Hybridverfahren kombinieren das Laserschweißen mit anderen Schweißverfahren. Geeignete Verfahrenspartner sind MIG-Schweißen (Metall-Inert-Gas), MAG-Schweißen (Metall-Aktiv-Gas), WIG-Schweißen (Wolfram-Inert-Gas) und Plasmaschweißen. So werden zum Beispiel im Schiffbau große Blechplatten mit bis zu 30 Meter Länge und 15 mm Dicke verschweißt. Die Spaltabstände zwischen den Platten sind so groß, dass der Laserstrahl sie allein nicht überbrücken kann. In diesem Fall kombiniert man MIG-Schweißen und Laserschweißen. Der Laser liefert die hohe Leistungsdichte für große Nahttiefen. Er erlaubt hohe Schweißgeschwindigkeiten und reduziert so Wärmeeinbringung und Verzug. Der MIG-Brenner überbrückt den Spalt und schließt die Fuge durch Zusatzdraht.

laser light cables take the laser light from the laser to the processing stations.

Deposit welding adds extra material such as wire or powder to the base material and uses laser radiation to first melt and then metallurgically connect the two. Main applications for this method are the repair or modification of existing parts and surface finishing.

Manual deposit welding by laser and additional wire allows damages to be repaired, the wear resistance to be improved locally, minor changes to be made to the design and production faults to be mended. It involves holding the wire by hand and letting the laser beam weld it to the part with high strength and pin-point accuracy. Using 0.1 mm to 0.8 mm diameter wires enables surface area deposits. Automatic deposit welding by laser often uses powders as additives. This assists the repair of various components but is also used to apply anti-wear and anti-corrosive coatings. Powder deposit welding is used by various industries such as mould and tool making, the oil, gas or aerospace industries or automotive engineering.

Hybrid methods are a combination of laser welding and other welding techniques. Suitable partner methods are metal inert gas (MIG) welding, metal active gas (MAG) welding, tungsten inert gas (TIG) welding and plasma welding. Ship builders, for example, weld large metal panels up to 30 metres long and 15 mm thick. Since the gaps between the panels are too large to be bridged by the laser beam, these applications combine MIG and laser welding. In this combination, the laser provides the high power density required for the deep seams. Its high welding speed reduces the heat transfer into and warping of the metal. The MIG burner bridges the gap and closes the joint by additional wire.

Das Hybridschweißen wird in weiteren Branchen wie dem Schienenfahrzeugbau, Kranbau, LKW-Bau und in der Schwerindustrie eingesetzt.

Beim Laserlöten verbindet ein Zusatzwerkstoff - das Lot - die Fügepartner. Bei der Bearbeitung schmilzt nur das Lot; die Fügepartner werden lediglich erwärmt. Wenn das Lot flüssig ist, fließt es in den Fügespalt und verbindet sich mit der Oberfläche des Werkstücks. Die Festigkeit der Lötverbindung entspricht der des Lotwerkstoffes.

Mit Hartloten, zum Beispiel aus Kupfer und Zink, lassen sich ähnlich hohe Festigkeiten wie beim Schweißen erzielen. Die Oberfläche der Lotnaht ist glatt und sauber, bildet geschwungene Übergänge zum Werkstück und muss nicht nachbearbeitet werden. Diesen Vorteil nutzt man in der Automobilindustrie.

Vor dem Lackieren muss das Karosserieteil nur noch gereinigt werden. Lötnähte finden sich an Außenhautteilen im sichtbaren Bereich der Fahrzeuge, wie zum Beispiel an Heckklappen, Türen, C-Säulen oder am Dach. Weitere Anwendungen finden sich in der Mischbauweise, zum Beispiel bei der Verbindung von Aluminium und Stahl. Bauteile aus unterschiedlichen Werkstoffen lassen sich oft schlecht oder gar nicht mehr schweißen, weil die Schmelzpunkte sehr unterschiedlich sind.

Das Laserschweißen von Thermoplasten ergänzt die traditionellen Kunststoffschweißverfahren mittels Ultraschall, Vibration oder Heizelementen. Durch den lokalen Energieeintrag mittels Laser erwärmt sich der Kunststoff in der Fügezone sehr schnell und materialschonend.

Hieraus resultiert eine homogene Schmelze ohne Fusselbildung durch Trockenreibung. Für den Schweißprozess ist der Fügedruck essentiell: Ein Spannwerkzeug presst die beiden Fügepartner aufeinander wodurch ein Andruck entsteht, der für die Wärmeübertragung zwischen den beiden Fügepartnern erforderlich ist.

Beim Laserschweißen von Kunststoffen werden Laserleistungen im Bereich von rund 50 W bis 500 W eingesetzt.

Hybrid welding is also used by other industries such as the building of railway vehicles, cranes and lorries, and in heavy industry.

Laser soldering involves an additional material, the solder, which joins the two parts. In the process, only the solder will melt, whereas the parts just get slightly warmer. The hot and, hence, liquid solder runs into the gap and joins with the surface of the part. A soldered joint is as stable as the solder.

Brazing alloys, copper and zinc for example, are almost as stable as welded joints. The surface of a soldered seam is smooth and even, produces vaulted junctions with the workpiece and does not require any rework, an advantage predominantly used by the automotive industry.

All that is left to do is to clean the car body component before painting it. Soldered seams are located along visible vehicle shell components such as boot lids, doors, C columns or the roof. Composite design, e.g. connections of aluminium and steel, provides further applications. Components made of different materials are often difficult or impossible to weld because the materials have very different melting points.

Laser welding of thermoplastic materials supplements the conventional methods of welding plastics by ultrasound, vibration or heating elements. By having the laser locally feed in the energy, the plastic material in the joining area heats up very quickly and without stressing the material.

The resulting melt is very homogeneous and free from "fluffing" by dry friction. Welding critically depends on the joining pressure: a clamping tool presses the two parts together and generates a contact pressure which is required to transfer the heat between the two parts to be joined.

Laser welding of plastic materials works at a power between about 50 W and 500 W.

Es kommen Diodenlaser und Festkörperlaser (Faser- und Stablaser) zum Einsatz.

Damit Thermoplaste durch die Laserstrahlung der verwendeten Wellenlängen von 800 – 1100 nm aufgeschmolzen und verschweißt werden können, muss ihre optische Absorption durch Addition von Zusatzstoffen wie zum Beispiel Farbpigmenten oder Ruß erhöht werden.

Alternativ können auch Diodenlaser mit einer Wellenlänge im Bereich von 2 µm eingesetzt werden. Bei der Durchstrahlschweißmethode werden zwei Arten von thermoplastischen Kunststoffen miteinander verbunden: Ein Fügepartner ist der transparente, der andere Fügepartner ist der absorbierende Kunststoff. Ein weiteres Verfahren ist das automatisierte Tapelegen und -wickeln, bei dem faserverstärkte Kunststoffe abgelegt bzw. gewickelt und mit Hilfe des Diodenlasers verschweißt werden.

Der Laserstrahl wird durch den transparenten Fügepartner zur Fügenaht geführt. Anwendungen finden sich beispielsweise beim dauerhaft dichten Verschweißen von Sensoren oder Gehäusen in der Automobilzulieferindustrie. Innenliegende vibrationsempfindliche Bauteile oder komplexe Elektroniken werden durch das berührungslose Laserschweißen und den geringen Wärmeeintrag vor Beschädigungen geschützt.

Darüber hinaus haben sich Anwendungen etabliert, wo der Laser den Kunststoff in der Fügezone unmittelbar vor dem Zusammenpressen plastifiziert. Mit Laserleistungen im Multikilowattbereich wird dieses Verfahren zum Beispiel in der Holzbranche zur Schmalflächenversiegelung von Möbelteilen oder für die Verarbeitung von faserverstärkten Kunststoffbändern (Tape) in verschiedensten Industriebereichen eingesetzt.

Laserbeschriften

Die Beschriftung mit dem Laser erfüllt alle Anforderungen, die an ein flexibles Markiersystem mit hohem Automatisierungsgrad gestellt werden. Mit dem Laser lassen sich praktisch alle Metalle und Kunststoffe und eine Vielzahl anderer Materialien beschriften. Es lassen sich hoher Kontrast und sehr dünne Strichstärken erreichen.

There were used diode lasers and solid state lasers (fiberlaser and rod laser).

Before thermoplastic materials can be melted and fused by the laser's wavelength of 800 nm – 1100 nm, additives such as pigments or soot need to be applied to increase the material's optical absorption.

Another option is to use diode lasers at a wavelength of around 2 µm. Transmission laser welding joins two types of thermoplastic materials, one component consisting of transparent material, the other of absorbing plastic material. Another process is automated tape laying and winding, in which fibre-reinforced plastics are laid down or wound and welded with the aid of the diode laser.

The laser beam penetrates the transparent component and hits the seam. Examples of applications include the permanent sealing of sensors or housings in the automotive supply industry. Internal components sensitive to vibration or complex electronic circuitries are protected from damage by non-contact laser welding and the small amount of heat transferred.

Other, more recent applications rely on the laser plasticising the plastic material in the joining area immediately before the components are pressed together. Increasing the laser energy to several kilowatts makes this method fit for the sealing of narrow surfaces of furniture, as is frequently the case in the woodworking industry and for many other industries wherever there is a need to process fibre-reinforced plastic tapes.

Laser marking

Laser marking meets all requirements expected from a flexible marking system supporting a high level of automation. Lasers are able to mark virtually all metals as well as plastic and many other materials. Laser marking excels in very high contrast and extremely thin lines, both of which ensure excellent resolution and legibility, particularly if very small fonts are chosen.

Damit sind hohe Auflösung und gute Lesbarkeit, besonders bei kleinen Schriften, gewährleistet. Laserbeschriftungen sind sehr dauerhaft und erfolgen ohne unerwünschtes Einbringen zusätzlicher Stoffe. Laserbeschriftungen lassen sich oft auch an Stellen anbringen, die mit herkömmlichen Methoden schwer zugänglich sind.

Die Anwendungen der Beschriftungslaser reichen vom Beschriften von ICs und anderen Komponenten, gedruckten Schaltungen und Tastaturen im Elektroniksektor bis zu Kennzeichnungs- und Designanwendungen in der Automobilindustrie.

Der Beschriftungslaser findet aber auch Anwendung in der Medizin- und Feinwerktechnik bis in den Sicherheitsbereich, wo beispielsweise Ausweise fälschungssicher beschriftet werden.

It does not degrade and is applied without adding any undesirable substances to the substrate. In many cases, lasers are able to mark surfaces which are difficult to access by conventional methods.

Marking applications for lasers include the labelling of ICs and other components, printed circuits and keyboards in the electronics industry, labelling and design applications of the automotive industry and many other practical uses.

Medical, precision or even security engineering demands more specific and intricate marking applications, e.g. to make fraud-resistant ID cards.

Lasergravur auf einer Reifenseitenwand ermöglicht Individualisierung von Reifen nach dem Vulkanisationsprozess und erhöht somit die Flexibilität in der Reifenproduktion
Laser engraving on a tire sidewall enables individualization of tires after the vulcanization process and thus increases flexibility in tire production

Lasermarkieren
Laser marking

Entsprechend der Schreibkontur wird der Laserstrahl mit Hilfe so genannter Scanner-Spiegel bewegt und mit einer Feldlinse auf das Material fokussiert.

Kontur und Laserparameter werden über einen Steuerrechner vorgegeben; eine Integration in teil- oder vollautomatische Produktionssysteme ist jederzeit möglich. Mit Hilfe der Software lassen sich sehr einfach in Inhalt und Form wechselnde Beschriftungen erzielen.

Für das Laserbeschriften kommen je nach Materialtyp verschiedene Strahlquellen und Verfahren zum Einsatz. Die Strahlquellen umfassen gütegeschaltete Festkörperlaser, ausgeprägt als Faserlaser oder Stablaser, frequenzvervielfachte gütegeschaltete Festkörperlaser, Festkörperlaser ohne Güteschaltung sowie CO_2-Laser.

Laserbeschriften ist ein Sammelbegriff für mehrere Verfahren: Verfärben, Abtragen, Gravieren und Anlassen. Welches Verfahren das geeignete ist, hängt vom Werkstoff und den Qualitätsanforderungen ab.

Beim Beschriften durch Verfärben von Kunststoffen erwärmt der Laserstrahl die Oberfläche lokal. Der Energieeintrag führt zur thermochemischen Reaktion der Karbonisierung oder zu einem Aufschäumen des Polymers. Die Karbonisierung verursacht einen Umschlag zur dunklen Markierung.

Das Aufschäumen, der Bildung von kleinsten Gasbläschen, die bei der Abkühlung dauerhaft eingeschlossen werden, führt zu einer hellen Markierung. Additive können die Absorptionseigenschaften verbessern. Als Strahlquellen werden Faserlaser und Stablaser eingesetzt. Mit den Wellenlängen 532 nm und 355 nm können auch photochemische Prozesse wie etwa Ausbleichen oder Photoreduktion erzielt werden. Die Photoreduktion mit dem ultravioletten Laserstrahl wird auch als „kalte Markierung“ bezeichnet, da praktisch keine nennenswerte Erhitzung und damit kaum Materialschädigung eintritt.

So-called scanner mirrors move the laser beam along the set outline of letters etc. where a field lens focuses the beam on the material.

A computer sets and controls the outline and the laser parameters, thereby enabling the integration in semi-automatic or fully automatic production systems. Running the right software applications easily adapts the labelling to changing contents and forms.

Laser marking procedures and beam sources vary depending on the type of material. Beam sources include Q-switched solid state lasers (fibre or rod), frequency-multiplied and Q-switched solid state lasers, non-Q-switched solid state lasers, and CO_2 lasers.

Laser marking is an umbrella term covering various procedures: colouring, ablating, engraving and annealing. The materials and quality requirements decide which procedure is most apt for the purpose.

To mark a plastic material by colouring, the laser beam locally heats up the surface. The energy input provokes either a thermo-chemical carbonation reaction or a foaming of the polymer. Carbonation changes the surface hue into a dark marking.

Foaming, i.e. the generation of very small gas bubbles that will be permanently enclosed when cooling down, leaves a light mark behind. Additives may improve the material‘s absorption capacity. Beam sources are either fibre or rod lasers. The wavelengths 532 nm and 355 nm are also able to set off photochemical processes such as fading or photoreduction. Photoreduction by ultraviolet laser beam is also referred to as “cold marking” because it hardly heats up or damages the material at all.

Ein weiteres Beschriftungsverfahren stellt das Abtragen mittels Laser dar. Bei Bedarf können auch farbige Oxide erzeugt werden, die die Beschriftung noch deutlicher hervortreten lassen.

Weit verbreitete Applikationen sind z.B. der Abtrag von Eloxal auf Aluminium, von Lackschichten oder der obersten dünnen Deckschicht spezieller Laserbeschriftungsfolien. Weiterhin lassen sich durch Laserabtragen durchscheinende hintergrundbeleuchtete Bedienelemente beschriften, bei denen eine lichtundurchlässige Deckschicht von einem transparenten Grundwerkstoff entfernt wird (Tag-Nacht-Design).

Beim Gravieren oder Tiefenbeschriften trägt der Laserstrahl den Werkstoff ab. Im Werkstück entsteht eine Vertiefung - die Gravur. Die Tiefenbeschriftung dient der flexiblen Erzeugung einer fälschungssicheren und unter Verschleiß- und Korrosionsbeanspruchung dauerhaften direkten Produktkennzeichnung. Anwendung findet dieses Verfahren bei allen Metallen, Keramik und einigen Kunststoffen. Sowohl beim Abtragen als auch beim Tiefenbeschriften oder Gravieren arbeitet man mit kurzen, leistungsstarken Laserpulsen.

Die Leistungsdichten sind so hoch, dass der Grundwerkstoff oder die Deckschicht schmilzt und verdampft oder sich zersetzt.

Farbige Anlassbeschriftungen lassen sich erzeugen, indem der Laserstrahl ein metallisches Werkstück dort, wo die Markierung entstehen soll, bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt.

Dabei entstehen Oxidschichten an der Oberfläche, deren Beschaffenheit den Farbeindruck bestimmt. Das Anlassbeschriften wird vor allem bei Edelstahl eingesetzt, findet im Allgemeinen aber Anwendung bei allen Metallen, die unter dem Einfluss von Wärme und Sauerstoff ihre Farbe ändern. Ein großer Vorteil des Anlassbeschriftens ist, dass dabei kein Materialaufwurf neben der Lasermarkierung entsteht, und somit bereits fertig bearbeitete Oberflächen beschriftet werden können.

Ablating by laser is another labelling method. It is possible to generate coloured oxides that make letters, symbols etc. even more obvious.

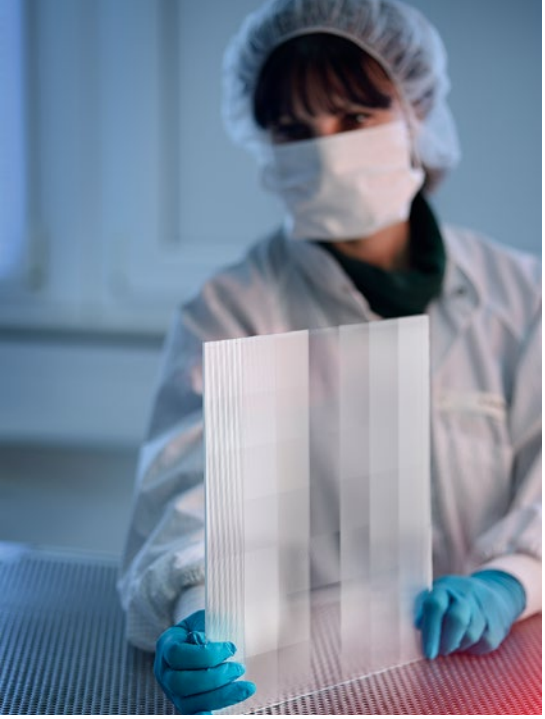
Common applications include the ablating of anodised aluminium from aluminium, paint layers or the thin topmost layer covering special laser marking films. Laser ablation is also able to mark transparent, backlit control elements by removing an opaque covering layer from a transparent base material (night & day design).

Engraving or deep marking involves a laser beam that removes some of the material, leaving a cavity – the engraving – in the workpiece. Deep marking is a flexible means of producing a fraud-resistant product labelling which is applied directly to the product and permanently stays there without any susceptibility to wear or corrosion. It can be used on all metals and ceramics as well as on some plastic materials. Both ablating and deep marking or engraving are achieved by emitting short and powerful laser pulses.

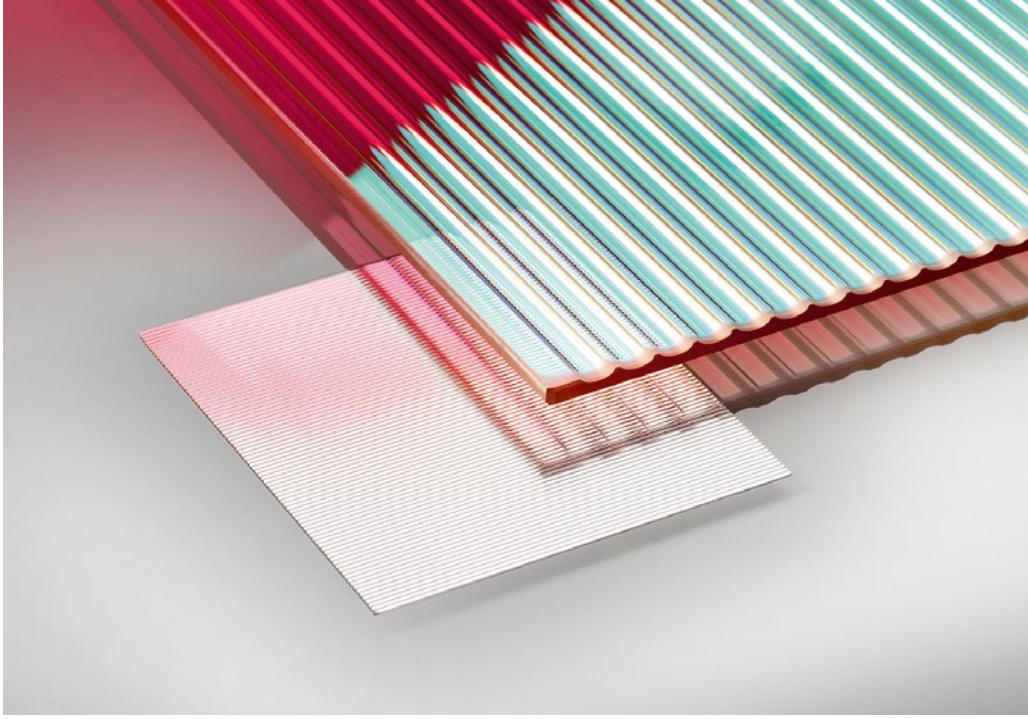
Under an extremely high power density, the base material or the covering layer will melt or vaporise or disintegrate.

To produce coloured labelling by annealing, the laser beam heats up a metal workpiece to a specific temperature in all places which are to be part of the labelling.

The resulting oxide layers on the surface determine the character of the colour impression. Whereas labelling by annealing is mainly used on stainless steel, it is also commonly used on any metal that changes its colour when exposed to heat and oxygen. The big advantage of this method is that it does not bulge the material next to the laser marking such that it is a good choice for the labelling of fully finished surfaces.



Produktion hochpräziser Glasoptiken
auf 300 x 300 mm² Wafern
Production of high-precision glass optics on 300 x 300 mm² wafers



Serienfertigung von FAC-Linsen auf Wafer-Basis
Wafer-based manufacturing of FAC lenses

Laserstrukturieren und Mikrobearbeitung

Mit dem Laser lassen sich Werkstücke in kleinsten Dimensionen bearbeiten. Dies beinhaltet einerseits Bearbeitungsprozesse wie das Schneiden, Bohren, Schweißen oder Beschriften. Andererseits umfasst die Lasermikrobearbeitung zahlreiche Strukturierungsanwendungen. Hierbei werden Oberflächen lokal und präzise durch Werkstoffabtrag in ihren Eigenschaften verändert.

Je nachdem, welches Material bearbeitet werden soll, kommen unterschiedlichste Laser zum Einsatz. Von entscheidender Bedeutung für das Laserstrukturieren sind die Pulsdauer und die Wellenlänge des verwendeten Lasers. Kurze Laserpulse mit sehr hohen Pulsleistungen erzeugen so hohe Energiedichten, dass das Material überwiegend direkt verdampft und nur wenig Schmelze entsteht.

Neben gütegeschalteten Lasern mit Pulsen im Nanosekundenbereich kommen auch so genannte Ultrakurzpulslaser zum Einsatz, Festkörperlaser mit Pulslängen im Picosekunden- oder Femtosekundenbereich. Halbleiter und Metalle werden überwiegend mit Festkörperlasern in der Grundwellenlänge bearbeitet. Für Kunststoffe kommen im allgemeinen frequenzvervielfachte Festkörperlaser oder CO_2-Laser zum Einsatz. Excimerlaser übernehmen sowohl strukturierende Aufgaben, dienen aber auch als Lichtquellen für die Mikrolithografie oder für das sogenannte Annealing.

Laser texturing and micromachining

Lasers allow workpieces to be machined at minute dimensions. The process covers processing methods such as cutting, drilling, welding or marking as well as many different texturing applications under the catch-all term of laser micromachining. The latter modifies the properties of surfaces by accurately removing some material from defined locations.

The choice of lasers depends on the material to be machined. The laser's pulse duration and wavelength are crucial parameters of laser texturing. Short but very high-power laser pulses generate an energy density that immediately vaporises the material without producing much melt.

Apart from Q-switched lasers emitting nanosecond pulses, there are also ultrashort-pulse lasers, i.e. solid state lasers emitting picosecond or femtosecond pulses. While semiconductors and metals are normally machined by solid state lasers that emit their fundamental wavelength, plastic materials are commonly machined by frequency-multiplied solid state lasers or CO_2 lasers. Excimer lasers mainly provide texturing but are also used as a light source for microlithography or annealing.

Abtragenden Laserstrukturierungsverfahren sind insbesondere in der Elektronik und Mikroelektronik weit verbreitet. Bei der Fertigung kristalliner Solarzellen werden mittels Laser Passivierungsschichten gezielt entfernt, Vorder- und Rückseite durch sogenannte Kantenisolierung elektrisch getrennt, oder Laserbohrungen zur Durchkontaktierung eingebracht. Bei Dünnschicht-Solarzellen bringen Laser die zur Serienschaltung notwendigen Trennschnitte in mehrere Schichten ein und führen die Randentschichtung durch.

Bei der Herstellung mehrlagiger Leiterplatten bringen Laser Bohrungen für Durchkontaktierungen ein. Auch bei der Fertigung von Smartphones und Tabletcomputern nehmen Laser zahlreiche Aufgaben war, wie beispielsweise das Schneiden und Bohren von gehärtetem Glas für berührungsempfindliche Bildschirme.

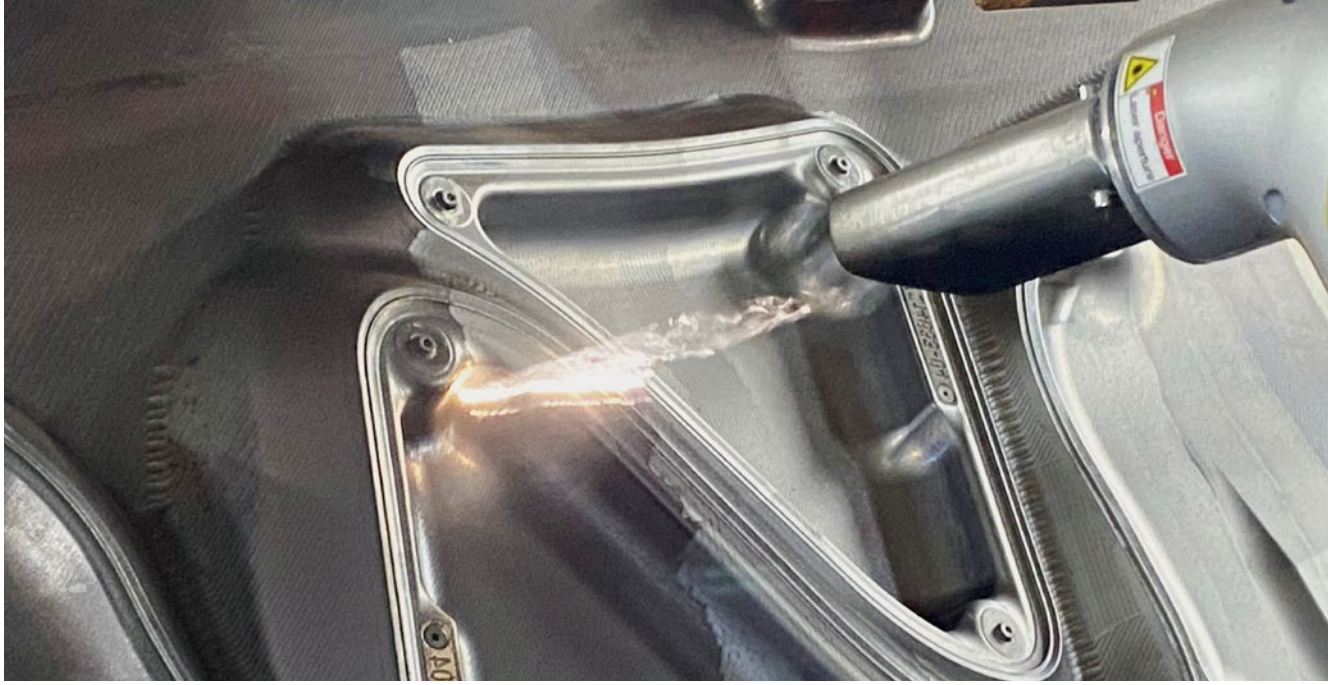
Neben abtragenden Strukturierungsverfahren werden Laser in der Elektronikfertigung auch zur Lithographie und für das Annealing eingesetzt.

Ablating laser texturing methods are quite common in the electronics and microelectronics industries in particular. Lasers are used in the production of crystalline photovoltaic cells to remove passivating layers, electrically isolate front and back side by so-called edge isolation or to laser-drill feed-through holes. In thin-film photovoltaic cells, lasers make the cross cuts required for series connection in several layers and delaminate the edges.

Lasers drill the feed-through holes needed to make multi-layer circuit boards. Lasers also perform many different tasks involved in the production of smartphones and tablet computers, e.g. cutting and drilling in toughened glass for touch-sensitive monitors.

Electronic production not only uses lasers for ablating texturing methods but also for lithography and annealing.

Multi-kW UV Excimerlaser mit 1300mm Linienoptik für die Displayherstellung
Multi-kW UV Excimerlaser with 52" Line-Optics for the Display Industry



Sensible Oberflächen lassen sich materialschonend mit dem Laser reinigen
The laser enables gentle cleaning of sensitive surfaces

Direktschreibende Laserlithografieverfahren ermöglichen die Herstellung von Leiterplatten mit besonders feinen und dichtgepackten Strukturen. Als Lichtquellen für die sogenannte DUV-Mikrolithografie dienen Excimerlaser der Herstellung integrierter Schaltungen, während CO_2-Laser entscheidende Komponenten von Plasmalichtquellen für die neuartige EUV-Mikrolithografie sind. Beim sogenannten Laserannealing wird mit Excimerlasern die Ladungsträgerbeweglichkeit erhöht, ein entscheidender Prozessschritt für die Produktion hochauflösender LCD- und OLED-Displays.

Additive Laserverfahren

Additive Laserverfahren erstellen Bauteile aus CAD-Daten (Computer Aided Design) mithilfe spezieller Auftragstechniken. Inzwischen gibt es eine Reihe unterschiedlicher additiver Laserverfahren, die verschiedene Materialien verwenden. Gemeinsam ist den Verfahren, dass die Bauteile schichtweise aus Pulver aufgebaut werden. Bei der Laserstereolithografie werden Bauteile aus UV-verfestigbarem Kunststoffpulver aufgebaut. Das sogenannte selektive Lasersintern (SLS) erzeugt Bauteile aus sinterbarem Kunststoff-, Keramik- oder Metallpulver. Mit Hilfe spezieller Schmelzverfahren lassen sich Metallwerkstoffe mit einer Dichte von 99,9% des Basismetalls erzeugen.

Auch mit Hilfe von Laserauftragschweißen lassen sich Bauteile aus Metallen erzeugen. Während die Schmelzverfahren das Bauteil aus sukzessive hinzugefügten Pulverschichten aufbauen und

Directly inscribing laser lithography supports the production of circuit boards with particularly intricate and densely packed structures. Light sources of so-called DUV microlithography are excimer lasers for the production of integrated circuits, while CO_2 lasers are essential components of plasma light sources for the innovative EUV microlithography. So-called laser annealing uses excimer lasers to increase the mobility of charge carriers, which is a key step in the production of high-resolution LCD and OLED displays.

Additive laser methods

Additive laser methods and special procedures of application turn CAD data (computer-aided design) into components. Various additive laser methods for use with diverse materials have been developed recently. All of these methods share the same approach of making layers from powder and stacking these layers until the component is complete. Laser stereolithography builds up the component from plastic powder that sets under UV light. In a similar way, selective laser sintering (SLS) uses vitrifiable plastic, ceramic or metal powder. By means of dedicated melting methods, this approach is able to create metals of 99.9% the density of the basic metal.

Deposit welding is another lasering technique that is able to make metal components. As opposed to the melting methods which successively build up the component by adding layers of powder at a

durch eine hohe Genauigkeit und geometrische Freiheit gekennzeichnet sind, erfolgt die Pulverzufuhr beim Auftragschweißen aus einer Düse. Ein Vorteil des Auftragschweißens ist, dass Schichten auf vorhandenen dreidimensionalen Oberflächen aufgetragen und größere Bauteile bearbeitet werden können, wodurch sich das Verfahren für Reparatur-, Verschleiß- und Korrosionsschutzanwendungen einsetzen lässt.

Weitere Verfahren

Die Modifikation von Oberflächen umfasst das Randschichthärten von Eisenwerkstoffen, das Laserumschmelzen sowie das bereits unter der Überschrift Laserschweißen angesprochene Pulverauftragschweißen.

Bei der Oberflächenmodifikation werden Härte und Zähigkeit erhöht, die Oberflächenstruktur verändert, Druckspannungen in der Oberfläche erzeugt oder Schutzschichten aufgebracht. Oft werden Diodenlaser eingesetzt, deren Strahlprofil, Wellenlänge und hoher Wirkungsgrad vorteilhaft sind.

Das Laserreinigen von Reifenformen, Spritzgußformen oder Gußteilen gehört seit geraumer Zeit zum Stand der Technik. Das Laserentschichten kommt zum Einsatz, wenn für Reparaturarbeiten oder nachfolgende Prozesse wie Schweißen, Löten, Kleben oder Umformen Bauteile komplett oder selektiv von Farben oder Lacken befreit werden müssen. Zum Einsatz kommen hier gütegeschaltete Festkörperlaser sowie gepulste Faserlaser hoher Leistung. Durch das Einkoppeln hoher Energie in ein kleines Volumen steigt im abzutragenden Material die Temperatur sprunghaft an. Hierdurch entsteht ein Plasma, welches verbunden mit einer Schockwelle die oberen Schichten abträgt bzw. absprengt.

Laser kommen für zahlreiche weitere Fertigungsverfahren zum Einsatz. Nichtmetalle wie Leder, Textilien, Acryl oder Papier werden flexibel und präzise geschnitten. In der Verpackungsindustrie bringen Laser winzige Perforationslöcher zur Herstellung einer definierten Atmosphäre innerhalb der Verpackung ein oder schwächen einzelne Verpackungsschichten als Aufreißhilfe.

high level of accuracy and freedom of geometrical design, deposit welding uses a nozzle to apply the powder. Deposit welding benefits from the ability to add layers to existing three-dimensional surfaces and to modify larger components such that it is the perfect choice for repairing a part or protecting it against wear and corrosion.

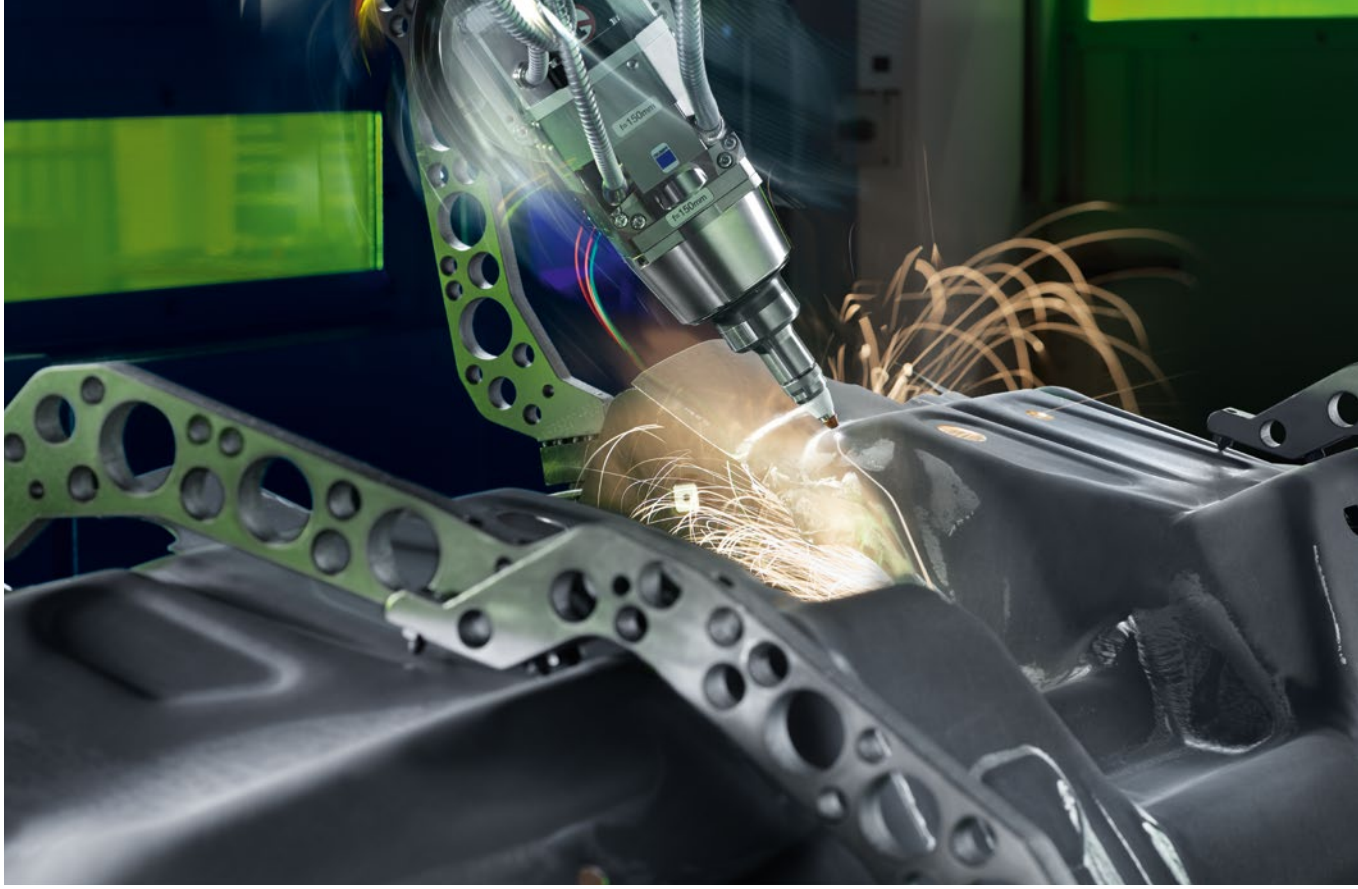
Other methods

Methods of surface modification include the surface hardening of iron materials, laser remelting and the powder deposit welding previously discussed in the section Laser Welding.

Surface modification aims to increase hardness and toughness, change the texture of surfaces, generate compressive stress in the surfaces or apply protective layers. Diode lasers are frequently chosen because of their beam profile, wavelength and high efficiency.

The cleaning of tyre moulds, injection moulds or cast parts by laser has been the state of the art for quite some time. Lasers are used to strip coatings whenever all or some paint or varnish has to be removed from components that are needed for repairs or downstream processes such as welding, soldering, bonding or forming. In these cases, preference is given to Q-switched solid state lasers and pulsed high-power fibre lasers. By emitting very much energy into a small volume, these lasers cause a sudden increase in temperature in the material to be eroded. The resulting plasma in conjunction with a shock wave ablates or blasts down the top layers.

There are many other methods of production that benefit from lasers. They accurately cut non-metals such as leather, fabrics, acrylic or paper to variable shapes. Lasers help the packaging industry to punch tiny holes that generate a defined atmosphere inside the package or weaken certain packaging layers to make them tear open more easily.



Laserschneiden eines Querträgers mit der TruLaser Cell 8030
Laser cutting of a cross beam with TruLaser Cell 8030

Lasersysteme
Laser systems

Da der Laser für sich allein kein einsetzbares Werkzeug darstellt, kommt dem Systemanteil eine wesentliche Bedeutung für die industrielle Akzeptanz des Lasers in der Fertigung zu. Als Maschinenkonzept für den Einsatz des Lasers bieten sich folgende Varianten an:

- Bewegung des Werkstücks bei stationärem Strahl,
- Bewegung des Strahls bei feststehendem Werkstück,
- Kombination von Strahl- und Werkstückbewegung in unterschiedlichen Achsen.

Hier wird der große Vorteil des Lasers deutlich: Der Laserstrahl wird, mit Ausnahme von kurzwelligen UV-Wellenlängen, in Luft nicht absorbiert und kann mit Hilfe stationärer oder beweglicher Spiegel dorthin gelenkt werden, wo er zum Einsatz kommen soll. Der Strahl des Festkörperlasers lässt sich mit Hilfe von Lichtleitfasern über größere Entfernungen, typischerweise bis zu 100 m, transportieren.

Since a laser is no tool that can be used on its own, the system it is a part of is of crucial importance to lasers being widely accepted for production purposes. The following machine concepts should be considered:

- *moving the workpiece under a stationary laser beam,*
- *moving the laser beam across a stationary workpiece,*
- *moving the beam and workpiece along various axes.*

At this point, the laser proves its greatest strength: Except for short UV waves, laser beams are not absorbed by air and can be guided to the target point by stationary or moving mirrors. Optical fibres are able to transport solid state laser beams across larger distances of up to 100 m in typical applications.

Neben der flexiblen Strahlführung liegt der Vorteil auch in der Strahlaufteilung parallel oder in zeitlicher Folge auf verschiedene Bearbeitungsstationen. Dadurch ergibt sich eine optimale Ausnutzung der Strahlquelle. Mit mehrachsigen Führungsmaschinen kann der Laserstrahl im Raum so geführt werden, dass er bei dreidimensionalen Werkstücken in allen Punkten der Bearbeitung senkrecht zur Werkstückfläche ausgerichtet ist. Dabei kommen kartesische Systeme (achsparallele Bewegung – „Fliegende Optik“) oder auch Roboter zum Einsatz. Da die Laserbearbeitung ein sehr schnelles Verfahren darstellt, haben die Systemdynamik und die Qualität der Bewegungssteuerung großen Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis. Die CNC-Steuerung kontrolliert neben den Verfahrachsen zusätzlich alle wesentlichen Laserparameter und passt diese so der aktuellen Aufgabenstellung und der Bahnbewegung an.

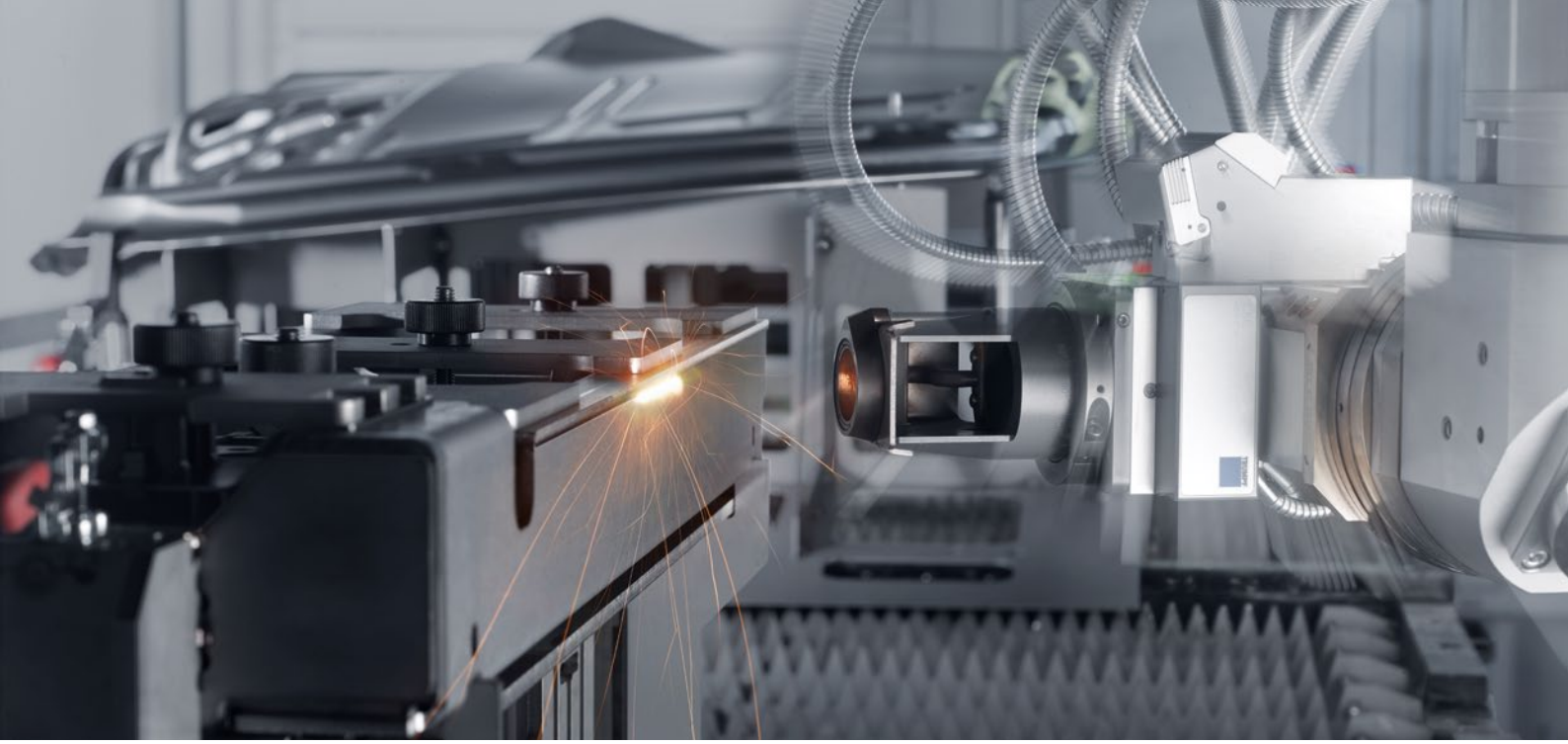
Für Bearbeitungsaufgaben mit besonders hohen Anforderungen an die Bearbeitungsdynamik, bei hoher Genauigkeit, werden auch Lasermaschinen mit Linearmotoren eingesetzt. Diese Antriebe bieten eine besonders hohe Beschleunigung und Vorschubgeschwindigkeit bei geringsten dynamischen Bahnabweichungen und leisten damit einen Beitrag zur weiteren Steigerung der Produktivität.

Der Laserstrahl lässt sich auch mit Hilfe von Galvoscannern zweidimensional ablenken, deren hohe Dynamik besonders große Zustell- und Bearbeitungsgeschwindigkeiten erlaubt. Galvoscanner kommen vor allem zum Einsatz beim Beschriften und in der Mikrobearbeitung, aber auch beim Schweißen und Schneiden großer Bauteile. Galvoscanner, die nur einen begrenzten Bearbeitungsbereich ermöglichen, lassen sich auch mit kartesischen Systemen kombinieren.

Apart from the flexibility of beam guidance, there is also the option of breaking up the beam either into several parallel beams or into sequenced beam bits to be taken to the same or different workstations, thereby optimising beam source utilisation. Multi-axis guiding machines allow the beam path to be manipulated through space such that the beam will be perpendicular to any point on the surface of any three-dimensional object. This is achieved by Cartesian systems (axially parallel movement – “flying optics”) or robots. Laser machining is very fast. Its results therefore depend on the dynamic system properties and the quality of motion control. CNC machines not only control the axes but also all major laser parameters by adapting them to the task at hand and the movement along the current track.

Laser machines equipped with linear drives are used for machining subjects to very high requirements of dynamics and precision. These drives are marked by particularly fast acceleration and high feed rates at a minimum of dynamic track discrepancies, which adds to further enhancing the productivity of machining.

Galvanic scanners are able to redirect the laser beam across two-dimensional planes. The high-level dynamism of these scanners results in particularly high feeding and machining rates. Galvanic scanners are mainly used for marking and micromachining but also for welding and cutting large components. To make up for their limited surface coverage, they are often combined with Cartesian systems.



Laserschweißen eines dreidimensionalen Kfz-Strukturbauteiles aus Metall
Laser welding of three-dimensional automaotive-structural metal part

Systemaspekte im weiteren Sinn

Laserverfahren ermöglichen eine wirtschaftliche Fertigung mit gesteigerter Flexibilität und Produktivität. Weitere Vorteile liegen in der Automatisierbarkeit und hoher Bearbeitungsqualität.

Laser entsprechen den aktuellen Anforderungen der industriellen Produktion unserer Zeit mit immer kürzer werdenden Innovationszyklen und Zunahme der Variantenvielfalt der Produkte.

In vielen Fällen hat der Laser bisherige Bearbeitungsverfahren vorteilhaft ersetzt. Dies wird durch rund 750 000 Lasersysteme belegt, die weltweit schon in die industrielle Fertigung Eingang gefunden haben. Der Laser ermöglicht jedoch technisch vorteilhafte, kostenschonende Produktionsverfahren in einem noch viel größeren Umfang, wenn er im Fertigungsprozess nicht isoliert, sondern als integraler Bestandteil betrachtet wird. Dies schließt neben Systemaspekten im engeren Sinn, wie Prozessüberwachung oder Online-Regelung, Systemaspekte im erweiterten Sinn ein. Entscheidend sind beispielsweise eine lasergerechte Konstruktion, die Wahl lasergerechter Werkstoffe, die Berücksichtigung vor- und nachgeschalteter Prozessstufen oder Fragen der Prozessqualifikation. Die Entwicklung dieser Systemaspekte ist eine komplexe Aufgabe, die Zeit benötigt, sie erschließt jedoch ein vielfältiges Anwendungspotenzial für das Werkzeug Laser.

System aspects in the wider sense

Laser techniques enable economically efficient production at increased flexibility and productivity. Other advantages are the ease of automation and the high quality of machining results.

Lasers meet today's requirements of industrial production and its ever shortening innovation cycles and ever increasing diversity of product variants.

In many cases, lasers have managed to replace conventional methods in a beneficial manner. This is proven by the roughly 750,000 laser systems that have found their way into industrial production worldwide. The laser's technically advantageous and cost-effective method of production may be enhanced further by not considering it a distinct but an integral part of the production process. Apart from looking at specific system aspects such as process monitoring or online control, a wider perspective should be considered. For example, design and the choice of materials as well as the sequencing of upstream and downstream process steps or process qualification issues should bear the laser in mind. Developing these system aspects is a complex and time-consuming challenge but will help to further explore the laser's multifaceted practical potential.

Märkte und Trends
Markets and trends

Gastkommentar Dr. Arnold Mayer, Optech Consulting

Der Weltmarkt für Lasersysteme zur Materialbearbeitung erreichte im Jahr 2020 ein Volumen von 15 Milliarden Euro. Dieser Wert ergibt sich auf Basis der Daten, die bei Abfassung dieses Kommentars im März 2021 vorlagen. Der bisherige Höchststand von 16,8 Milliarden Euro wurde 2018 nach mehren Jahren starken Wachstums erreicht. Im Jahr 2019 sorgte eine schwächere Nachfrage aus der Konsumelektronik- und Automobilindustrie für einen Marktrückgang um gut 5%. Der Rückgang um weitere rund 5% im Jahr 2020 fiel vor dem Hintergrund von COVID-19 moderat aus. Dies ist vor allem einer im zweiten Halbjahr anziehenden Nachfrage in China und Teilen Asiens zu verdanken.

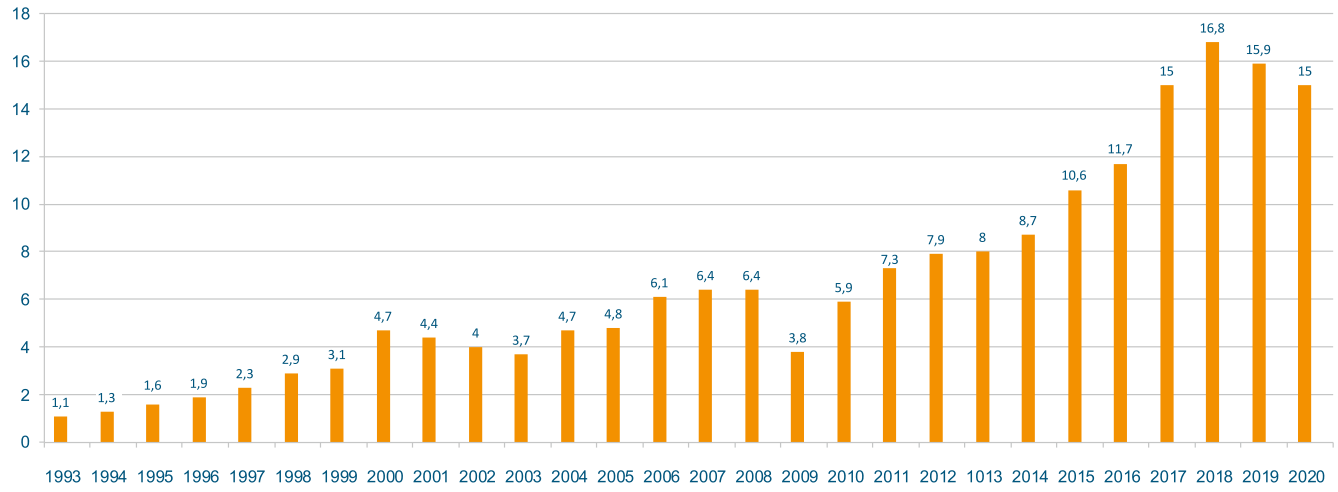
Den Löwenanteil von rund 45% des Lasersystemmarkts nehmen Systeme zum Schneiden und Schweißen metallischer Werkstoffe mit Hochleistungslasern (Strahlleistung ein Kilowatt und darüber) für sich in Anspruch. Lasersysteme für andere Anwendungen setzen zum großen Teil Laser mit gemittelten Strahlleistungen von unter

Guest commentary Dr. Arnold Mayer, Optech Consulting

The world market for laser systems for materials processing reached 15 billion Euros in 2020. This figure is based on data available at the time of writing in March 2021. The previous peak of €16.8 billion was reached in 2018 after several years of strong growth. In 2019, weaker demand from the consumer electronics and automotive industries caused the market to decline by a good 5%. The decline of a further 5% or so in 2020 was moderate against the backdrop of COVID-19. This is mainly due to an increase in demand in China and parts of Asia in the second half of the year.

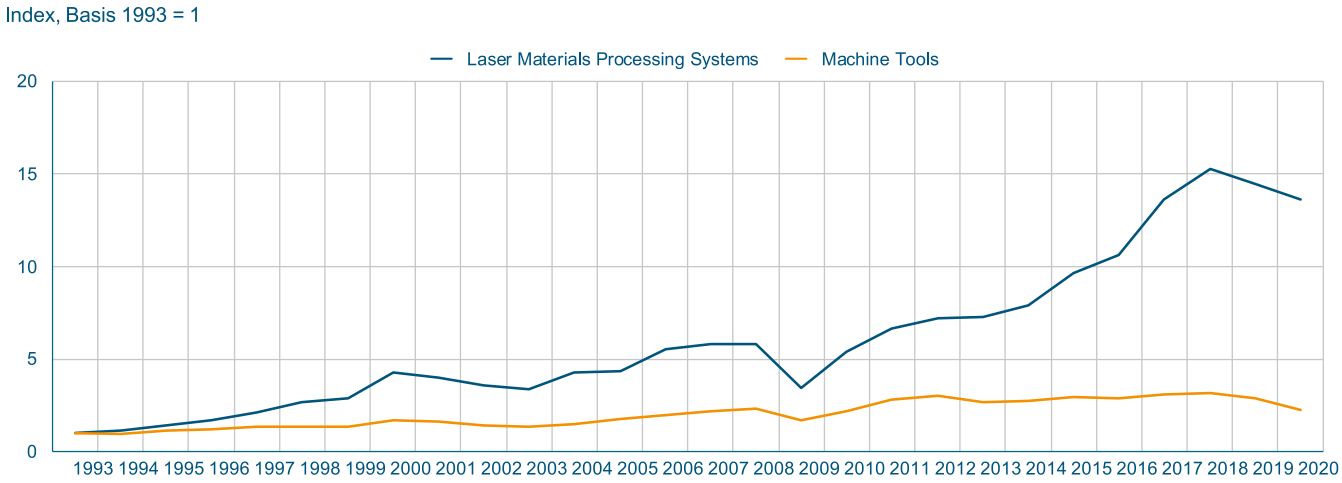
The lion's share of around 45% of the laser system market is taken up by systems for cutting and welding metallic materials with high-power lasers (beam power of one kilowatt and above). Laser systems for other applications largely use lasers with average beam powers of less than one kilowatt, although peak powers for pulsed lasers can be well above this. This includes laser systems for micromachining in the electronics industry, for precision machining, and for other low-power machining tasks.

Global market for laser systems



Quelle: Optech Consulting

Global market for laser systems and machine tools market in € indexed to 1993 volume



Quelle: Optech Consulting

einem Kilowatt ein, wobei die Spitzenleistungen bei gepulsten Lasern weit darüber liegen können. Dies umfasst Lasersysteme zur Mikrobearbeitung in der Elektronikindustrie, zur Feinbearbeitung und für andere Bearbeitungsaufgaben im Niedrigleistungsbereich. Die Lasersysteme zur Mikrobearbeitung in der Elektronikindustrie stehen für rund 25% des Gesamtmarktes und dienen der Fertigung von Halbleitern, Leiterplatten, Flachbildschirmen oder Solarzellen, überwiegend mit abtragenden und lithographischen Mikrostrukturierungsverfahren sowie thermischen und nichtthermischen Trennverfahren.

Als weiteres Verfahren hat das Annealing von Halbleitermaterialien große Bedeutung erlangt, das vor allem bei der Herstellung von Flachbildschirmen eingesetzt wird. Die verbleibenden rund 30% des Marktes entfallen auf das Laserbeschriften, die additive Fertigung sowie das Schneiden, Bohren und Schweißen von Metallen und Nichtmetallen bei geringen Leistungen. Alle genannten Marktvolumina umfassen den Wert der Laserbearbeitungssysteme, mit allerdings einer Ausnahme. Im Bereich Mikrolithographie wurde lediglich der Wert der Laserquellen, nicht der kompletten Waferstepper angesetzt.

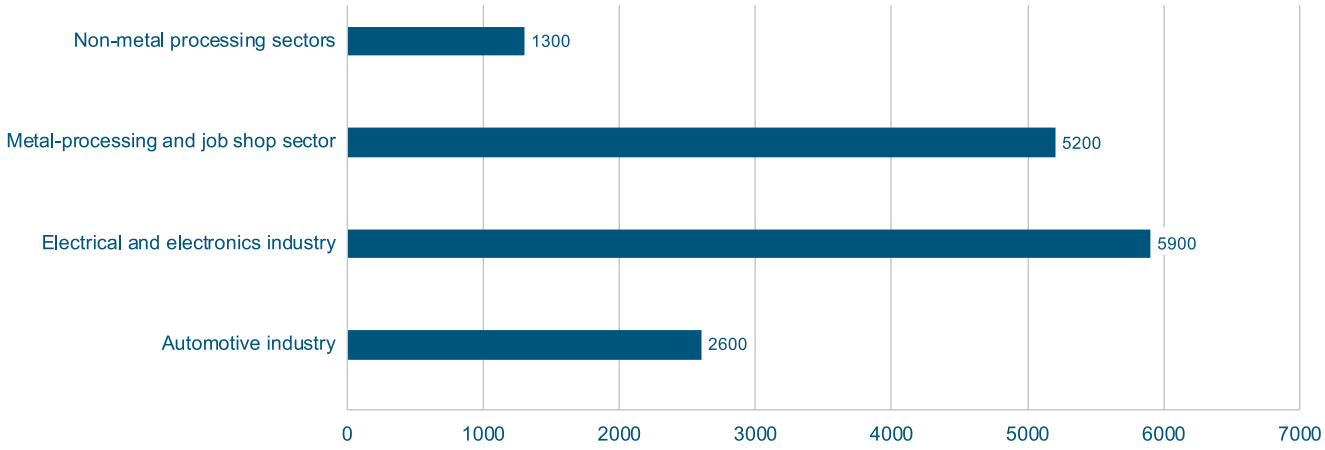
Der Weltmarkt für Laserquellen zur Materialbearbeitung beziffert sich für das Jahr 2020 auf 3,7 Milliarden Euro. Festkörperlaser stehen für rund

Laser systems for micromachining in the electronics industry account for around 25% of the total market and are used for the production of semiconductors, printed circuit boards, flat screens or solar cells, predominantly with ablative and lithographic microstructuring processes as well as thermal and non-thermal separation processes.

A further process, the annealing of semi-conductor materials which is used especially for the production of flat panel displays, has grown considerably in importance. Laser marking, additive manufacturing as well as the cutting, drilling and welding of metals and non-metals at low power account for the remaining 30%. The market volumes mentioned above include the value of laser processing systems, with one exception. In the area of microlithography the value of laser sources alone and not the complete wafer stepper is estimated.

The world market for laser sources for processing materials reached 3.7 billion Euros in 2020. Solid-state lasers account for around 70% of the laser source market. Available as fiber, rod or disc laser, these lasers provide a wide range of beam output and pulse parameters, which enables them to cut and weld sheets with cross-cuts in the centimeter range and complete structuring work in microelectronics.

World market structure for laser systems 2020 by user industry



Quelle: Optech Consulting

70% des Laserquellenmarktes. Ausgeführt als Faser-, Stab- und Scheibenlaser stellen sie ein breites Spektrum von Strahlleistungen und Pulsparametern zur Verfügung, welches sie zum Schneiden und Schweißen von Blechen mit Querschnitten im Zentimeterbereich ebenso befähigt wie zu Strukturierungsaufgaben in der Mikroelektronik. Auch additive Laserverfahren verwenden überwiegend Festkörperlaser. Diodenlaser, die vor allem zum Schweißen und zur Oberflächenbehandlung eingesetzt werden, ergänzen das Angebot der Festkörpertechnologien. Die Gaslaser, mit den CO2- und Excimerlasern , stehen für gut 25% des Laserquellenmarktes in der Materialbearbeitung. Excimer-Laser halten einen bedeutenden Marktanteil in der Lasermikrobearbeitung, insbesondere in der Mikrolithographie und beim Annealing. CO_2-Laser mit Strahlleistungen im Kilowattbereich werden ebenso wie Festkörperlaser zum Schneiden und Schweißen von Blechen eingesetzt. Darüber hinaus nehmen CO2-Laser im unteren Leistungsbereich zahlreiche Bearbeitungsaufgaben bei nichtmetallischen Werkstoffen wahr. Eine neue Applikation von CO2 -Lasern ist die Erzeugung von Plasmen als Quelle extrem ultravioletter Strahlung (EUV-Strahlung) für die Mikrolithografie. Das weltweite Marktvolumen für Lasersysteme zur Materialbearbeitung (rund 15 Mrd. Euro im Jahr 2020) erreicht inzwischen 27% des Marktvolumens für Werkzeugmaschinen (rund 56 Mrd. Euro).

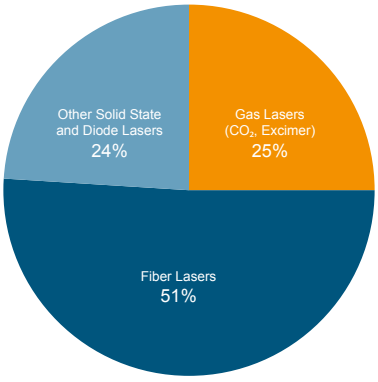
Additive laser processes also mostly use solid-state lasers. Diode lasers, which are mainly used for welding and surface treatment, complement the range of solid-state technologies. Gas lasers, with CO_2 and excimer lasers, account for a good 25% of the laser source market in material processing. Excimer lasers account for a significant market share in laser micro processing, especially in microlithography and annealing. Like solid-state lasers, CO_2 lasers with beam output in the kilowatt range are also used for cutting and welding sheets. In addition, CO_2 lasers are used in the lower power range for numerous processing tasks involving non-metallic materials, from the drilling of circuit boards over the cutting of leather and textiles through to the processing of packaging materials. The generation of plasma as a source of extreme ultra-violet radiation (EUV radiation) for microlithography is a new application for CO_2 lasers.

The importance of the laser tool for manufacturing technology is sharply underlined by one relationship. The global market volume for laser systems for material processing (about 15 billion Euros in 2020) has meanwhile reached 27% of the market volume for machine tools (around 56 billion Euros).

In den letzten 15 Jahren stieg das Volumen des Lasersystemmarktes um 200% auf mehr als das Dreifache an, während der Weltmarkt für Werkzeugmaschinen im gleichen Zeitraum nur um rund 27% zulegte. Die Nachfrage für Laser und Lasersysteme zur Materialbearbeitung ist erheblichen konjunkturellen Schwankungen unterworfen. Betrachtet man den Zeitraum von 2008 bis 2018, dann ist der Weltmarkt für Lasersysteme um durchschnittlich 10.1% pro Jahr gewachsen. In diesem Zeitraum waren Jahre mit mehr als 25% Wachstum ebenso vertreten wie Jahre mit Minuswachstum wie im Jahr 2009, als die Nachfrage infolge des weltwirtschaftlichen Abschwungs um 41% einbrach. Seither hat sich die Nachfrage kraftvoll erholt und markiert seit dem Jahr 2011 jährlich neue Höchststände. Nach fulminantem Wachstum im Jahr 2017 (+28%), legte der Markt im Jahr 2018 nach vorläufigen Daten wieder prozentual zweistellig zu. Unabhängig von konjunkturellen Schwankungen ist der Markt in einer langfristigen Aufwärtsentwicklung begriffen. Optech Consulting erwartet für den Weltmarkt für Lasersysteme zur Materialbearbeitung bis zum Jahr 2025 mittlere jährliche Zuwachsraten im höheren einstelligen Bereich, die deutlich über dem prognostizierten Weltwirtschaftswachstum liegen.

In the past 15 years the volume of the laser system market increased by 200% threefold, while the global market for machine tools increased only by 27% in the same period. Demand for laser and laser systems for material processing is subject to considerable economic fluctuations. Looking at the period 2008 to 2018, the global market for laser systems grew on average by 10.1% each year. In this period, years with more than 25% growth were present just as much as years with negative growth, which was the case in 2009 when demand collapsed by 41% following the global economic downturn. Since then demand has recovered strongly and has shown new record highs annually since 2011. After stunning growth in 2017 (+28%), the market will again show double-digit growth rate in 2018, according to preliminary data. Independent of business cycle fluctuations, the market is showing a long-term upward trend. Optech Consulting expects the world market for laser systems for material processing to show average annual growth rates in the higher single-digit range until 2025, significantly higher than the forecasted global growth.

World market for lasers for materials processing 2020 by laser type



Quelle: Optech Consulting

Bezugsquellen-Nachweis
List of suppliers

Unternehmen / Companies	Unternehmensprofil auf Seite / Company profile on page	Laser / Lasers: Lasertyp / Type of lasers: Festkörperlaser / Solid-state lasers: CW < 1 kW	CW >= 1 kW	gepulst, Millisekunden / pulsed, milliseconds	gepulst, Nanosekunden / pulsed, nanoseconds	gepulst, Pico- u. Femtosekunden / pulsed, pico- and femtoseconds	Stablaser / Rod laser	Faserlaser / Fiberlaser	Scheibenlaser / Disc laser	Dioden-Laser / Diode lasers	CO_2-Laser / CO_2-lasers: < 1 kW	>= 1 kW	Excimer-Laser / Excimer lasers	Anwendung / Application: Schneiden / Cutting	Schweißen / Welding	Oberflächenbehandlung / Surface treatment	Bohren / Drilling	Beschriften / Marking	Löten / Soldering	Sonstige Anwendungen / Other applications
4JET Group	35													●		●	●	●		●
II - VI GmbH																				
ACSYS Lasertechnik GmbH																				
K. H. Arnold GmbH & Co. KG														●	●	●				●
Coherent	36	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Corning Laser Technologies GmbH	37																			
DMG MORI	38																			
EMAG LaserTec GmbH			●	●		●					●	●			●			●		
KUKA Industries GmbH														●	●	●		●	●	●
LASERLINE GmbH	40							●		●				●	●	●			●	●
LASERVORM GmbH																				
LIMO GmbH										●					●	●			●	●
Linde AG Gases Division											●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
LPKF Laser & Electronics AG																				
Messer Cutting Systems GmbH																				
PT Photonic Tools GmbH																				
Schuler Pressen GmbH			●					●						●		●		●		●
Schüssler Technik GmbH & Co KG	41															●				
SITEC Industrietechnologie GmbH														●	●	●	●	●	●	
SLCR LASERTECHNIK GMBH		●	●		●			●			●	●				●		●		●
Stiefelmayer - Lasertechnik GmbH & Co. KG																				
technotrans SE																				
Trotec Laser Automation GmbH		●			●	●		●			●		●	●				●		
TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH	42	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
Weil Engineering GmbH	44																			

[1] Turboradialverdichter für den Einsatz in schnellgeströmten CO_2-Lasern
[2] Ölgedichtete Drehschieber-Vakuumpumpen zum Evakuieren der Laserstrahlquelle
[3] Trockenlaufende Vakuumpumpen und Seitenkanalverdichter für das Handling der Blechtafeln an Laserschneidanlagen
[4] Anwendungen Laserauftragschweißen: Pulverdüsen
[5] Aktive Laserschutzfenster
[6] Laserfeinschneiden
[7] Laserabtragen
[8] Überwachung von Prozessen in der Lasermaterialbearbeitung (Qualitätssicherung)
[9] Strahldiagnostik und Leistungsmessung
[10] Kaltwassersätze
[11] Laseranlagen für die Laserbeschriftung
[12] Laseranlagen für die 3D-Lasergravur
[13] Laseranlagen für das Laserschweißen
[14] Laseranlagen für das Laserschneiden
[15] Resonator- und Prozess-Gase, Gasversorgung
[16] Laseranlagen für Oberflächenstrukturen
[17] Laseranlagen für die Fertigung von Diamantwerkzeugen
[18] Laseranlagen für das Präzisions-Laserschneiden 2D und 3D
[19] Laseranlagen für Kühlbohrungen in Gasturbinenkomponenten
[20] Kühler für schnellgeströmte CO_2-Laser
[21] Kühlsysteme für alle Laser
[22] Gasdichte Gebläse für die Schutzgasumwälzung und pneumatische Förderung in Additive Manufacturing Anlagen
[23] Selektives Laserschmelzen

Komponenten / *Components*												Lasersysteme / *Laser systems*																	
Strahlführung und Strahlformung **Beam guiding and beam focusing**												**System** **System**						**Anz. Achsen** **Num. of axes**			**Anwendung** **Application**							
CO_2-Laser / Festkörperlaser CO_2-lasers / solid-state lasers																												
zum Schneiden for cutting	zum Schweißen for welding	zum Beschriften for marking	für sonstige Anwendungen other applications	Spiegeloptik Mirrors	Lichtleitkabel Laser optical fibres	Scanneroptik Optical devices for scanning	für Dioden-Laser for diode lasers	für Excimer-Laser for excimer laser	Sensorik/Nahtverfolgung Sensorics/seam tracking	Lieferprogramm *) Product range *)	CO_2 CO_2 laser-based	Festkörper Solid-state laser-based	Excimer Excimer laser	Dioden-Laser Diode laser	Standardsysteme Standard systems	kundenspezifische Sonderanlage Customized systems	Portal, 2 und 3 Achsen Portal, 2 and 3 axes	Portal, > 3 Achsen Portal, > 3 axes	Roboter Robot based	Schneiden Cutting	Schweißen Welding	Oberflächenbehandlung Surface treatment	Bohren Drilling	Beschriften Marking	Löten Soldering	Additive Fertigung Additive Manufacturing	Sonstige Anwendungen Other applications
●		●	●								●	●			●	●	●	●	●	●		●	●	●			●
●	●		●	●	●	●	●		●																		
										11, 12, 13, 14	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●
●	●		●	●	●	●	●		●	13, 14	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●					●
●	●	●	●		●	●	●	●		1, 2, 3, 20, 22	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
●		●	●								●	●			●	●	●	●	●			●	●	●			●
												●		●	●			●		●	●	●		●		●	●
										4, 6, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 23	●	●			●	●		●			●			●		●	●
●	●			●		●	●			11, 13	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●		●		●	●	●
	●		●	●		●					●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●
●	●	●	●			●	●	●	●	4, 5, 6, 11, 13, 14, 16, 18				●	●							●	●		●		●
●	●																				●	●	●	●	●	●	●
										4, 5, 6, 8, 13		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●
											●	●			●	●	●	●		●				●			●
●	●	●	●	●	●	●	●		●	15																	
●			●		●		●		●			●		●	●	●	●		●	●		●					●
	●																										
										6, 8	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●
		●								14, 15, 21	●	●			●	●	●	●	●			●		●			●
												●		●			●	●		●							
										7, 11, 16																	
										10, 20, 21	●	●	●		●	●	●			●				●			●
●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
											●	●		●	●	●	●	●			●	●					

[1] Turboradial blower for fast axial flow CO_2-lasers
[2] Oil-sealed rotary vane vacuum pumps to evacuate the laser source
[3] Dry running vacuum pumps and side channel blowers for sheet metal handling of laser cutting systems
[4] Application for laser cladding: powder cones
[5] Active laser safety windows
[6] Laser ultra-precision cutting
[7] Laser erosion
[8] Monitoring of material processing with lasers (quality assurance)
[9] Laser beam diagnostics and power measuring
[10] Industrial chiller
[11] Laser systems for marking
[12] Laser systems for 3D-laser engraving
[13] Laser systems for welding
[14] Laser systems for cutting
[15] Resonator- and process-gases; gas control equipment
[16] Laser systems for surface structures
[17] Laser systems for manufacturing diamond tools
[18] Laser systems for precision 2D and 3D laser cutting
[19] Laser systems for drilling of cooling holes in gas turbine components
[20] Cooler for high-flow CO_2-Laser
[21] Laser cooling
[22] Gas-tight blowers for inert gas circulation and pneumatic conveying Additive Manufacturing machines
[23] Selective lasermelt

Unternehmensprofile

Unternehmensprofile

35 4JET Group
www.4jet.de

36 Coherent (Deutschland) GmbH
www.coherent.de

37 Corning Laser Technologies GmbH
www.corning.com/lasertechnologies

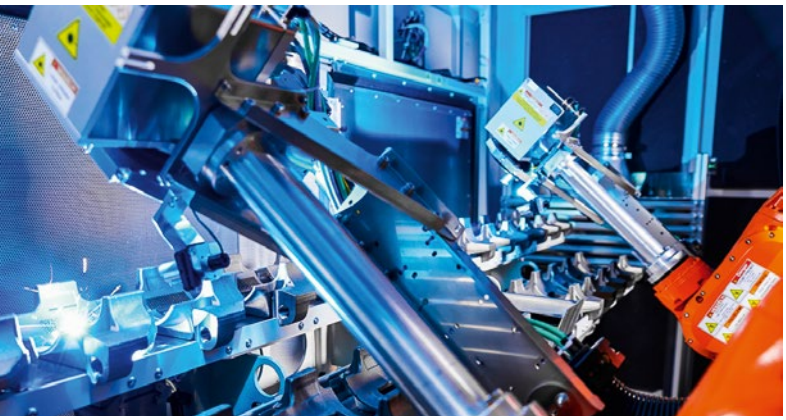
38 DMG MORI GmbH
www.dmgmori.com

40 Laserline GmbH
www.laserline.com

41 Schüssler Technik GmbH
www.schuessler-technik.de

42 Trumpf Laser- & Systemtechnik GmbH
www.trumpf.com

44 Weil Technology GmbH
www.weil-technology.com



Laserstrukturierung einer Bauteiloberfläche
Laser structuring of a part surface

Großflächige Laserstrukturierung eines Glassubstrats
Large area laser patterning of a glass substrate

Innovative Lasersysteme zur Erzeugung perfekter Oberflächen
Innovative laser systems to create perfect surfaces

Lasergravierter QR-Code
Laser engraved QR code

Laserreinigung von Formwerkzeugen
Laser cleaning of tools

Lasergeschnittenes Freiform-Display
Laser cut free form display

Durch die Kombination von Laserprozesstechnik, Optik, Bildverarbeitung, Automatisierung und Software entstehen integrierte Maschinenlösungen für Weltmarktführer in der Glas- und Photovoltaikindustrie sowie in der Automobil- und Reifenherstellung.

Einige unserer Fähigkeiten:

- Großflächiges Entschichten, Reinigen und Modifizieren von 3D-Oberflächen
- Laserstrukturierung von dünnen Schichten – mit mehreren Strahlen für höchsten Durchsatz
- Laserschneiden von Glas – von ultradünnen bis zu extra großen Substraten
- Kontrastreiche Markierung von DMC durch light trapping
- Oberflächenfunktionalisierung durch Laserinterferenz-Strukturierung
- Hochpräzise (µm) und hochdynamische (m/s) Positioniersysteme
- Industrielle Bildverarbeitung und AOI
- MES-Integration

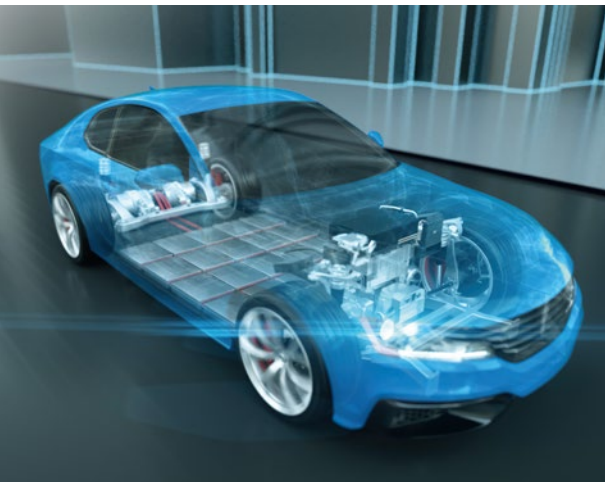
The combination of laser process technology, optics, image processing, automation and software creates integrated machine solutions for global market leaders in the glass and photovoltaic industries as well as automotive- and tire manufacturing.

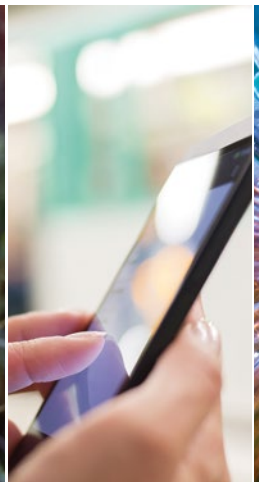
Some of our capabilities:

- *Large area decoating, cleaning and modification of 3D surfaces*
- *Laser structuring of thin-films – with multiple beams for highest throughput*
- *Laser cutting of glass – from ultrathin to extra large substrates*
- *High contrast marking of DMC by light trapping structures*
- *Surface Functionalization by Direct Laser Interference Patterning*
- *High precision (µm) and highly dynamic (m/s) positioning systems*
- *Machine Vision and AOI*
- *MES Integration*

Schauen Sie sich unser Video an und erfahren Sie in 2 Minuten, was wir tun!
Check out our corporate video and learn in 2 minutes what it is what we do!

4JET Group • Konrad-Zuse-Str. 1 • 52477 Alsdorf • Germany
Phone +49 2404 9221-0 • E-Mail info@4jet.de
Internet www.4jet.de





COHERENT: Superior Reliability & Performance

Coherent, Inc. ist einer der führenden Anbieter von Lasern und laserbasierter Technologie unter anderem für Bereiche wie Automotive & E-Mobility, Mikroelektronik & Displayherstellung, allgemeine Materialbearbeitung, wissenschaftliche Forschung, Life Sciences und Verteidigung.

Das Portfolio umfasst nahezu alle Lasertechnologien und reicht von Komponenten über Laser bis hin zu kompletten Bearbeitungssystemen. Alles unterstützt durch eine weltweite Applikations-, Service- und Logistik-Infrastruktur.

Was immer die Anwendung erfordert – von ultrakurzen Pulsen bis zum CW-Betrieb, von UV- bis zu IR-Wellenlängen, von mW bis kW, von der Komponente bis zur Komplettlösung – Coherent liefert.

Mit dem ARM-Laser bietet Coherent innovative Faserlasertechnologie, die qualitativ hochwertige Schweißprozesse in der Energiespeicherung und Leistungsverteilung ermöglicht. Für Batteriehersteller bedeutet dies gesteigerte Prozesseffizienz, Leistungsverbesserung und Senkung der Produktionskosten. Coherent treibt den Kundenerfolg mit höchster Zuverlässigkeit & Performance voran.

Coherent, Inc. is a leading provider of lasers and laser-based technology for automotive & e-mobility, microelectronics & display manufacturing, general materials processing, scientific research, life sciences, defense, and other applications.

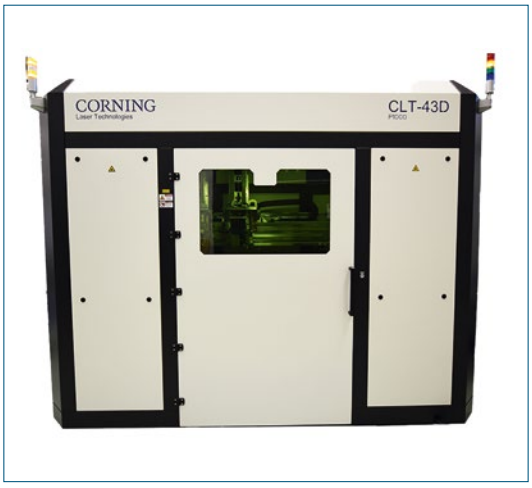
The Coherent product portfolio comprises virtually every laser technology, and ranges from components to lasers, to complete, laser-based manufacturing systems. All supported with a worldwide applications, service, and logistics infrastructure.

Whatever the application requires – from ultrashort pulses to continuous wave output, deep-UV to IR wavelengths, mW to kW output, component to complete solution – Coherent can deliver.

With the ARM-Laser, Coherent offers advanced fiber laser technology that enables high quality welding processes in energy storage and power distribution. This enables battery manufacturers to increase process efficiency, improve performance, and reduce production costs. Coherent propels customer success with Superior Reliability & Performance.

COHERENT

Coherent • Dieselstr. 5b • 64807 Dieburg • Germany
Phone +49 6071 968-0 • E-Mail sales.germany@coherent.com
Internet www.coherent.de



Laserprozessinnovationen für innovative Designs
Laser process innovations for innovative designs

Corning Laser Technologies bietet ein robustes Portfolio an Laser-Glasschneide- und Laser-Bearbeitungstechnologien, um den wachsenden Marktanforderungen für Spezialglas gerecht zu werden.

Durch die Einführung des Corning® Enhanced nanoPerforation Prozesses werden die Einsatzbereiche der Laserschneidtechnologie noch erweitert. Das neue System CLT-43D ergänzt zudem die umfangreiche Palette der CLT Glasbearbeitungssysteme und ermöglicht präzises Freiform- und 3D-Schneiden mittels ultrakurzer Laserpulse.

Einzigartige Vorteile

- Flexibles und schnelles Schneiden komplexer Geometrien in 2D & 3D
- hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit und Genauigkeit
- Hervorragende Kantenfestigkeit
- geringe oder gar keine Nachbearbeitung
- Minimale bis keine Partikelgenerierung

Corning Laser Technologies offers a robust portfolio of laser glass cutting and laser processing technologies to meet the growing market demands for specialty glass.

The introduction of Corning® Enhanced nanoPerforation process enables the cutting of complex geometries while maintaining excellent edge strength. The new CLT-43D system also extends the extensive range of CLT glass processing systems and enables precise free-form and 3D cutting using ultra-short laser pulses.

Unique Benefits

- *Flexible and fast cutting of complex geometries in 2D & 3D*
- *High cutting speed and accuracy*
- *Excellent edge strength*
- *Little or no post-processing*
- *Minimal to no debris generation*

CORNING | Laser Technologies

Corning Laser Technologies GmbH
Robert-Stirling-Ring 2 • 82152 Krailling • Germany
Phone +49 89 8994828-0 • E-Mail CLT-info@corning.com
Internet www.corning.com/lasertechnologies

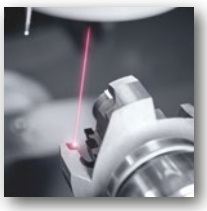
Mehr als 25 Jahre Erfahrung in der Laserbearbeitung
More than 25 years experience in laser machining

Weltweit einzigartig – Globaler Full-Liner für Additive Manufacturing mit Pulverbett und Pulverdüse aus einer Hand.
Worldwide unique – global full-liner for additive manufacturing with powder bed and powder nozzle from a single source.

DMG MORI bündelt mit den Bereichen ULTRASONIC, LASERTEC und ADDITIVE MANUFACTURING die Advanced Technologies des Konzerns. Das Laser-Portfolio bedient vier Technologiefelder: Die Shape-Technologie erlaubt das Laserabtragen und -strukturieren von geometrisch definierten Oberflächen, beispielsweise im Formenbau. LASERTEC PrecisionTool steht für hochpräzise Schneidkanten, Freiwinkel und Spanleitstufen in PKD, CVD-D-Werkzeugen, während LASERTEC PowerDrill Maschinen im Aerospace-Sektor das Präzisionsbohren von Kühlluftbohrungen in Turbinenkomponenten ermöglichen.

Innerhalb des vierten Technologiefeldes ist DMG MORI der globale Full-Liner mit über 20 Jahren Erfahrung im ADDITIVE MANUFACTURING von metallischen Bauteilen und steht für innovative Fertigungstechnologien und einen weltweiten Service. Das Portfolio umfasst vier vollständige Prozessketten für additive Verfahren mit der Pulverdüse und im Pulverbett jeweils kombiniert mit der konventionellen Finish-Bearbeitung. Die LASERTEC **DED** hybrid Maschinen kombinieren das Laserauftragsschweißen mittels Pulverdüse und das Fräsen / Drehen. Einbaufertige Bauteile mit komplexen Geometrien und mehreren Materialien lassen sich auf diese Weise schnell herstellen. Als Ergänzung zu einem bestehenden Maschinenpark eignet sich die LASERTEC **DED** Baureihe für das reine Laserauftragsschweißen. Daneben bietet DMG MORI in seinem Produktsortiment auch die LASERTEC **SLM** Maschinen für die additive Fertigung im Pulverbett an. Mittels des selektiven Laserschmelzens lassen sich sehr filigrane Bauteile mit hohem Komplexitätsgrad fertigen. Die LASERTEC **SLM** Serie erlaubt dabei – ähnlich wie die LASERTEC **DED** Maschinen – ebenfalls den Einsatz unterschiedlicher Materialien. Die innovative OPTOMET- Software rundet das Angebot ab und ermöglicht einen schnellen Einstieg mittels automatischer Parameterberechnung.

LASERTEC Shape



LASERTEC PrecisionTool

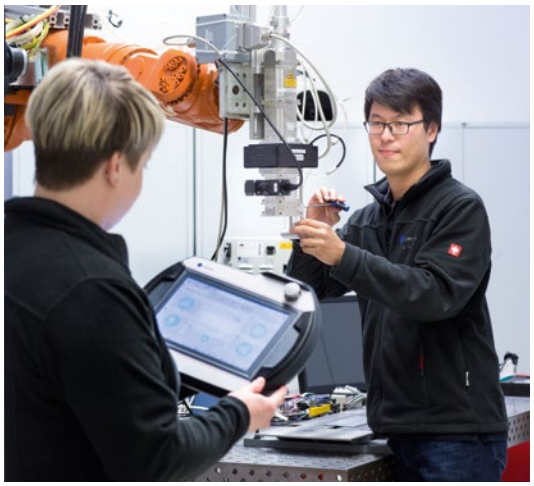
LASERTEC PowerDrill

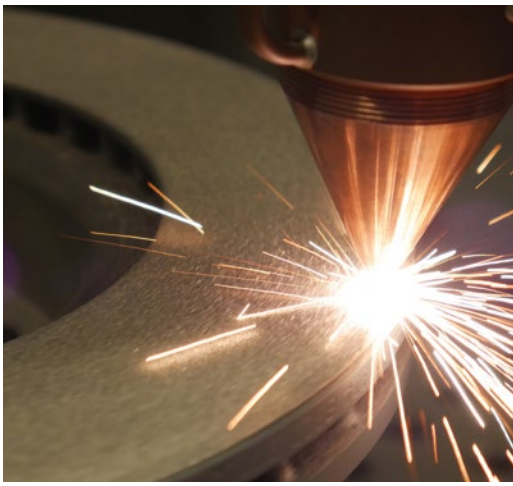
DMG MORI bundles its technologies ULTRASONIC, LASERTEC and Additive Manufacturing under the Group Advanced Technologies. Its LASERTEC portfolio covers four fields of activity: The Shape technology allows laser ablation and texturing of geometrically defined surfaces, e.g. for Die & Mold. PrecisionTool products produce cutting edges, clearance angles and chip breaker geometries in PCD, CVD-D tools with high precision. Whereas LASERTEC PowerDrill machines are used for the precision drilling of cooling air holes in blades and vanes for the aerospace and stationary gas turbine industry.

*With over 20 years of experience in the ADDITIVE MANUFACTURING of metal parts, DMG MORI represents innovative manufacturing technologies with a worldwide service. The portfolio includes four complete processchains for additive processes using powder nozzle or powder bed technologies that are combined with traditional manufacturing. The LASERTEC **DED** hybrid machines combine direct energy deposition using a powder nozzle, with milling / turning. This is for bigger parts and enables adding material to existing parts with difficult geometries and multiple materials. The LASERTEC **DED** series concentrates solely on direct energy deposition works as an add-on in an existing machine park. In addition, DMG MORI's product range also offers the LASERTEC **SLM** machines for additive manufacturing in the powder bed. This technique builds very small, highly complex filigree parts by means of selective laser melting. Like the LASERTEC **DED** machines, the LASERTEC **SLM** series enable the flexible use of different materials. The innovative OPTOMET software rounds off the offer and enables a quick start by means of automatic parameter calculation.*

DMG MORI

DMG MORI Ultrasonic Lasertec GmbH • Gildemeisterstr. 1 • 55758 Stipshausen • Germany
DMG MORI Additive GmbH • Gildemeisterstr. 60 • 33689 Bielefeld • Germany
E-Mail info@dmgmori.com • Internet www.dmgmori.com





Diodenlaser für die industrielle Materialbearbeitung
Diode lasers for industrial materials processing

Laserline zählt zu den Pionieren der Diodenlasertechnologie und hat entscheidend zum Durchbruch dieses Lasertyps beigetragen. Gegründet 1997, ist das Unternehmen zu einem international führenden Entwickler und Hersteller von Diodenlasern für Industrieanwendungen avanciert.

Typische Einsatzgebiete sind klassische Verfahren der Metallbearbeitung wie Schweißen, Hartlöten, Härten oder Entfestigen sowie das Beschichten und Reparaturschweißen. Darüber hinaus haben sich Laserline Diodenlaser auch im Additive Manufacturing sowie in der Kunststoffbearbeitung, im Schweißen von Faserverbundwerkstoffen und mit blauen Hochleistungsdiodenlasern (450 nm) zum Bearbeiten von Kupfer und anderen Buntmetallen etabliert.

Laserline ist der richtige Ansprechpartner, wenn herkömmliche Verfahren an ihre Grenzen stoßen. Gemeinsam mit unseren Kunden und Technologiepartnern setzen wir innovative Ideen um, führen ausführliche Tests im hauseigenen Applikationslabor durch und entwickeln neue Lösungsansätze mit Diodenlasern in der industriellen Materialbearbeitung.

Laserline is one of the pioneers in diode laser technology and played a significant role in achieving a breakthrough with this laser type. Founded in 1997, the company grew to becoming an international leading developer and manufacturer of diode lasers for industrial applications.

Typical application areas are classical forms of metal processing, as in welding, brazing, hardening or softening, as well as cladding and repair welding. Furthermore, Laserline diode lasers have been established for additive manufacturing as well as for plastic processing, welding of fiber reinforced plastics and with a blue cw high power diode laser (450 nm) for processing of copper and other highly reflective materials.

Laserline is the right contact when conventional processes reach their limits. Together with our customers and technology partners, we implement innovative ideas, conduct extensive tests in our in-house application laboratory and develop new approaches to solutions with diode lasers in industrial materials processing.

laserline

Laserline GmbH • Fraunhofer Str. 5 • 56218 Mülheim-Kärlich • Germany
Phone +49 2630 964-0 • E-Mail info@laserline.com
Internet www.laserline.com

Schüssler Laser (eine Marke der Schüssler Technik GmbH & Co. KG in Pforzheim) eröffnet mit seinem neuen 5 Achs-CNC-Bearbeitungszentrum zum Laserschweißen bis hin zum Mikroschweißen neue Perspektiven. Die kompakte Bauform unserer Anlage bietet Ihnen hochflexible Einsatzmöglichkeiten.

Schüssler Laser (a brand of Schüssler Technik GmbH & Co. KG in Pforzheim) opens up new perspectives with its new 5-axis CNC machining center for laser-welding up to micro welding. The compact and solid design of our system offers you highly flexible options for applications.

Laserschweißen mit neuer Innovation
Laser welding with a new innovation

In unserem Laser-Bearbeitungszentrum kommen unter anderem QCW-Faserlaser mit einer Leistungsklasse ab 150 Watt zum Einsatz. Das perfektionierte Zusammenspiel der Beobachtungskamera im Strahlgang, der kameragestützten Nachführung des Lasers, sowie der von Schüssler Technik entwickelten Direktantriebe, liefern Ihnen hochgenaue Ergebnisse beim Mikrolaserschweißen.

Highlights

- Freiformbearbeitung über 5 Achs-Kinematik
- Drehachse mit Hohlwelle
- Wartungsfreie Direktantriebe
- Einsatz von Faserlaser QCW, verschiedene Leistungsklassen ab 150W
- Hochflexible Einsatzmöglichkeiten
- CAD/CAM-System
- Medienversorgung auf Werkstückträger vorbereitet (Druckluft, Vakuum, Prozessgas)
- Integrierbarer Spannarm
- Vorbereitet für Industrie 4.0

In our laser machining center, QCW fiber lasers with a power class from 150 watts are used. The perfected interaction of the camera in the beam path, the camera-based tracking of the laser, as well as the direct drives developed by Schüssler Technik, provide you with highly accurate results in microlaser welding.

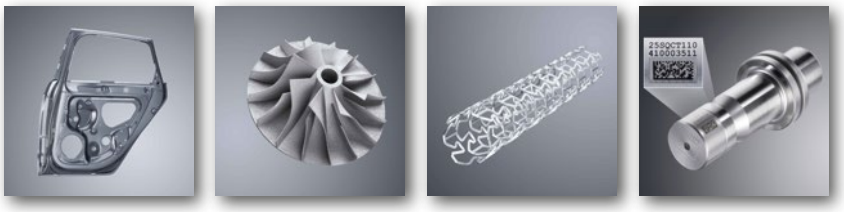
Highlights

- *Free form surfaces by 5-axis interpolation*
- *Rotary Axis with hollow shaft*
- *Maintenance-free direct drives*
- *Use of fiber laser QCW, with different power classes from 150W*
- *Highly flexible options for applications*
- *CAD / CAM system*
- *Media supply prepared on workpiece carrier (compressed air, vacuum, process gas)*
- *Integrable clamping arm*
- *Prepared for Industry 4.0*

SCHÜSSLER INNOVATIV. PRÄZISE. EFFIZIENT.

Schüssler Technik GmbH & Co.KG • Im Altgefälle 10 • 75181 Pforzheim • Germany
Phone +49 7231 9616-0 • E-Mail vertrieb@schuessler-technik.de
Internet www.schuessler-technik.de

Laser und Lasersysteme von TRUMPF
Lasers and laser systems from TRUMPF



Das breite Portfolio an Lasern und Lasersystemen für die Materialbearbeitung bietet für jede Applikation die passende Strahlquelle.

The broad portfolio of lasers and laser systems for material processing offers exactly the right beam source for each application.

TRUMPF ist Weltmarkt- und Technologieführer im Bereich industrieller Laser und Lasersysteme. So bietet TRUMPF dem Anwender alles, was er zur industriellen Materialbearbeitung braucht: Von den Strahlquellen und Lasersystemen bis hin zu Strahlführungskomponenten, intelligenter Sensorik und passenden Schnittstellen.
Die umfassende Applikationsberatung und ein breites Angebot an Dienstleistungen gewährleisten eine einfache Integration und hohe Verfügbarkeit weltweit. Zahlreiche Lösungen zur digitalen Vernetzung im Rahmen von Industrie 4.0 runden das Portfolio ab.

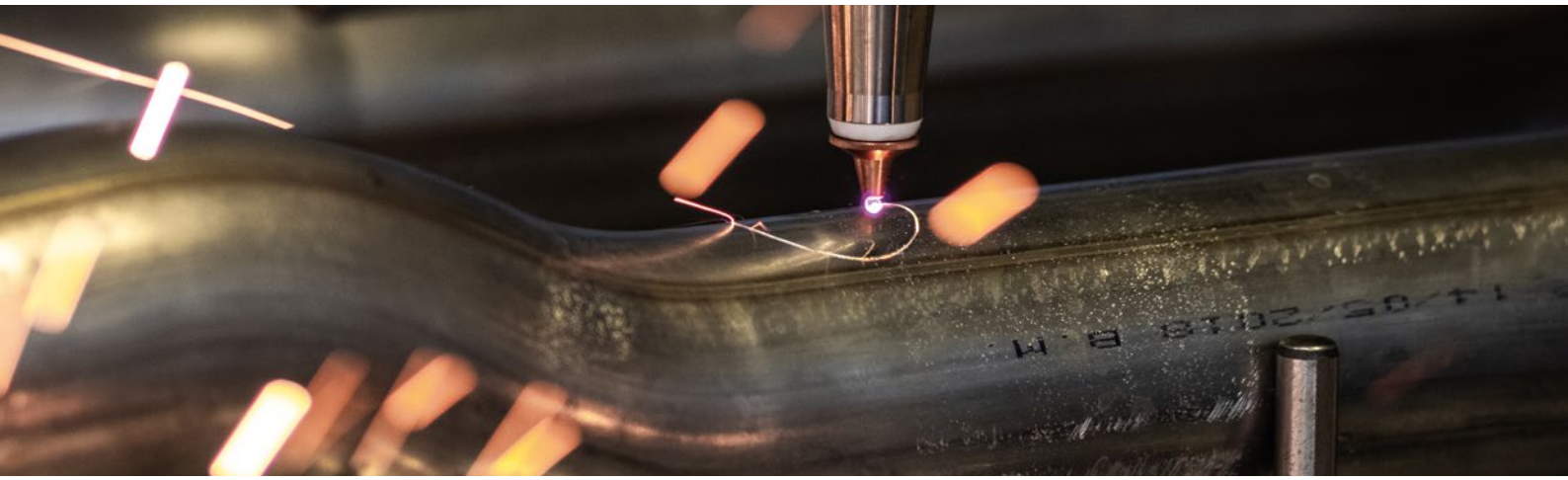
Von wenigen Watt bis in den Multikilowatt-Bereich für Metalle wie für Nichtmetalle bietet TRUMPF für jede Applikation die passende Strahlquelle, mit der Anwender energie- und kosteneffizient produzieren können. TRUMPF bietet Hochleistungs-CO_2-Laser, Scheiben- und Faserlaser, Diodendirektlaser, Ultrakurzpulslaser sowie Beschriftungslaser und -systeme. Auch Lasersysteme für das Schneiden, Schweißen und die Oberflächenbearbeitung dreidimensionaler Teile gehören ebenso zum Produktprogramm wie Hochleistungslasersysteme im Bereich extrem ultravioletten Lichts für die Herstellung von Microchips. Für metallischen 3D-Druck ist TRUMPF bestens aufgestellt.

TRUMPF is the world market and technology leader in the field of industrial lasers and laser systems. The company offers users everything they need for industrial material processing: from laser systems and beam sources to beam delivery components, intelligent sensor systems and appropriate interfaces. Comprehensive applications support and a wide range of tailored services ensure easy integration and high availability worldwide. Numerous solutions for digital networking through industry 4.0 complete the portfolio.

From a few watts all the way to the multi-kilowatt range, and for metallic and non-metallic materials alike, TRUMPF provides the appropriate beam source for every application, enabling energy-efficient and cost-efficient production. TRUMPF provides high-performance CO2 lasers, disk and fiber lasers, direct diode lasers, ultrashort pulse lasers, and also marking lasers and marking systems. The product range also features laser systems for the cutting, welding and surface treatment of three-dimensional components as well as high-power laser systems with an extreme ultraviolet light spectrum for the semiconductor industry. TRUMPF is perfectly positioned to drive forward metal 3D printing.

TRUMPF

TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH • Johann-Maus-Str. 2 • 71254 Ditzingen • Germany
Phone +49 7156 303-30862 • E-Mail contact.laser@TRUMPF.com
Internet www.trumpf.com



Weil Technology – Realizing fascinating solutions
Weil Technology – Realizing fascinating solutions

Weil Technology ist Maschinenbauunternehmen und Lösungsanbieter für Anlagen mit innovativen Laser-, Spann- und Automatisierungstechnologien in der Blechbearbeitung. Die werthaltigen Produktionslösungen kommen überall dort zum Einsatz, wo Wandel stattfindet und Produkte von morgen entstehen.

Das international aufgestellte Unternehmen mit Sitz in Müllheim unterstützt Anwender weltweit, Produktionsabläufe in der Blechbearbeitung zu realisieren, optimieren und automatisieren. Zahlreiche Prozessmodule, die sich intelligent zu Turn-Key-Anlagen kombinieren oder als Stand-Alone-Lösung einsetzen lassen, decken ein breites Spektrum an Arbeitsschritten ab. Sie erfüllen auch vom Standard abweichende Anforderungen.

Entwicklungen von Weil Technology sind zukunftsbestimmend in der Mobilität, einschließlich E-Mobilität, den Sektoren Heizung-Lüftung-Klima sowie Haushaltsgeräte, der Metallverarbeitung, Behälterfertigung und weiteren Branchen. Neben Maschinen und Anlagen bieten die Spezialist*innen von Weil Technology vielseitige Leistungen wie Machbarkeitsstudien, Prototyping und Service.

Weil Technology is a mechanical engineering company and solution provider for systems with innovative laser, clamping and automation technologies in sheet metal processing. The valuable production solutions are used wherever change takes place and tomorrow's products are created.

The internationally positioned company, headquartered in Müllheim, Germany, supports users worldwide in implementing, optimizing and automating production processes in sheet metal working. Numerous process modules, which can be intelligently combined to form turnkey systems or used as stand-alone solutions, cover a wide range of work steps. They also meet requirements that deviate from the standard.

Developments from Weil Technology are shaping the future in mobility, including e-mobility, the heating-ventilation-air conditioning sector as well as household appliances, metal processing, container manufacturing and other industries. In addition to machines and systems, the specialists at Weil Technology offer versatile solutions and services such as feasibility studies, prototyping and service.

Weil Technology

Weil Technology • Neuenburger Str. 23 • 79379 Müllheim • Germany
Phone +49 7631 1809-0 • E-Mail info@weil-technology.com
Internet www.weil-technology.com

Impressum *Imprint*

Herausgeber / *Editor*
VDMA
Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme
Machine Tools and Manufacturing Systems
AG Laser und Lasersysteme
für die Materialbearbeitung
WG Lasers and Laser Systems
for Material Processing
Forum Photonik
Photonics Forum

Dr. Moritz Förster
Lyoner Straße 16
60528 Frankfurt am Main
Phone +49 69 756081-22
Fax +49 69 756081-11
E-Mail m.foerster@vdw.de
Internet laser.vdma.org

Verlag / *Publisher*
VDMA Verlag GmbH
Lyoner Str. 18
60528 Frankfurt am Main
E-Mail verlag@vdma.org
Internet www.vdma-verlag.com

Technische Produktion / *Production*
VDMA Verlag GmbH

Layout und Design / *Layout & Design*
VDMA Verlag GmbH

Druck / *Printing*
Zarbock GmbH & Co. KG

Copyright 2021
VDMA Verlag GmbH
Frankfurt am Main

Bildnachweis / *List of Illustrations*

Titel / Cover:	TRUMPF Gruppe
Seite / Page 04–05	Coherent / ROFIN
Seite / Page 07	Corning Laser Technologies
Seite / Page 11	TRUMPF Gruppe
Seite / Page 12	Coherent / ROFIN
Seite / Page 14	EMAG LaserTec
Seite / Page 18	
links/left:	4JET Group
rechts/right:	TRUMPF Gruppe
Seite / Page 21	LIMO
Seite / Page 22	Coherent LaserSystems
Seite / Page 23	4JET Group
Seite / Page 25	TRUMPF Gruppe
Seite / Page 27	TRUMPF Gruppe

Grafiken „Märkte und Trends“ /
Graphics “Markets and trends“
Optech Consulting

Mitgliederverzeichnis
List of members

4JET Holding GmbH
Konrad-Zuse-Str. 1
52477 Alsdorf
Germany
Phone +49 2404 55230-0
Fax +49 2404 55230-11
info@4jet.de
www.4jet.de

4JET Technologies GmbH
Konrad-Zuse-Str. 1
52477 Alsdorf
Germany
Phone +49 2404 55230-0
Fax +49 2404 55230-11
info@4jet.de
www.4jet.de

A

ACSYS Lasertechnik GmbH
Leibnizstr. 9
70806 Kornwestheim
Germany
Phone +49 7154 80875-0
Fax +49 7154 80875-19
kornwestheim@acsys.de
www.acsys.de

K. H. Arnold GmbH & Co. KG
Gottlieb-Daimler-Str. 29
88214 Ravensburg
Germany
Phone +49 751 36169-0
Fax +49 751 36169-40
info@arnold-rv.de
www.arnold-rv.de

C

Coherent Munich GmbH & Co. KG
Zeppelinstr. 10
82205 Gilching
Germany
Phone +49 8105 3965-0
Fax +49 8105 3965-4159
info.gilching@coherent.com
www.coherent.com

Corning Laser Technologies GmbH
Robert-Stirling-Ring 2
82152 Krailling
Germany
Phone +49 89 8994828-1000
Fax +49 89 8994828-1111
clt-info@corning.com
www.corning.com

D

DMG MORI
Ultrasonic Lasertec GmbH
Gildemeisterstr. 1
55758 Stipshausen
Germany
Phone +49 6544 99199-0
Fax +49 6544 99199-190
ultrasonic@dmgmori.com
www.dmgmori.com

E

EMAG LaserTec GmbH
Am Flugplatz 1
73540 Heubach
Germany
Phone +49 7173 9188-0
Fax +49 7173 9188-8182
heubach@emag.com
www.emag.com

ESAB Welding & Cutting GmbH
Robert-Bosch-Str. 20
61184 Karben
Germany
Phone +49 6039 40-0
Fax +49 6039 40-301
info@esab-cutting.de
www.esab-cutting.de

H

HIGHYAG
Lasertechnologie GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Str. 2
14532 Kleinmachnow
Germany
Phone +49 33203 883-0
Fax +49 33203 883-22
highyag.info@ii-vi.com
www.highyag.de

Huf Tools GmbH Velbert
Güterstr. 17
42551 Velbert
Germany
Phone +49 2051 2767-0
Fax +49 2051 2767-755
info@huf-tools.de
www.huf-tools.de

K

KUKA Industries GmbH & Co. KG
Walter-Reis-Str. 1
63785 Obernburg
Germany
Phone +49 6022 503-0
Fax +49 6022 503-110
info.industries.de@kuka.com
www.kuka-industries.com

KUKA Systems GmbH
Blücherstr. 144
86165 Augsburg
Germany
Phone +49 821 797-0
Fax +49 821 797-1991
info@kuka.de
www.kuka.com

L

LASERLINE GmbH
Fraunhofer Str.
56218 Mülheim-Kärlich
Germany
Phone +49 2630 964-0
Fax +49 2630 964-1018
info@laserline.com
www.laserline.com/de-int/

LASERVORM GmbH
Südstr. 8
09648 Altmittweida
Germany
Phone +49 3727 9974-0
Fax +49 3727 9974-10
info@laservorm.com
www.laservorm.com

LIMO GmbH
Bookenburgweg 4–8
44319 Dortmund
Germany
Phone +49 231 22241-0
Fax +49 231 22241-140
info@limo.de
www.limo.de

Linde AG
Gases Division
Carl-von-Linde-Str. 25
85716 Unterschleißheim
Germany
Phone +49 89 31001-0
Fax +49 89 31001-585
info@de.linde-gas.com
www.linde-gas.de

LPKF Laser & Electronics AG
Osteriede 7
30827 Garbsen
Germany
Phone +49 5131 7095-0
Fax +49 5131 7095-90
lpkf@lpkf.com
www.lpkf.de

M

Messer Cutting Systems GmbH
Otto-Hahn-Str. 2-4
64823 Groß-Umstadt
Germany
Phone +49 6078 787-0
Fax +49 6078 787-150
info@messer-cs.de
www.messer-cs.de

P

PT Photonic Tools GmbH
Johann-Hittorf-Str. 8
12489 Berlin
Germany
Phone +49 30 6392-7800
Fax +49 30 6392-7799
info@photonic-tools.de
www.photonic-tools.de

R

ROFIN-SINAR Laser GmbH
Berzeliusstr. 87
22113 Hamburg
Germany
Phone +49 40 73363-0
Fax +49 40 73363-4100
info.hamburg@coherent.com
www.rofin.com

S

schoen + sandt machinery GmbH
Lemberger Str. 82
66955 Pirmasens
Germany
Phone +49 6331 713-100
Fax +49 6331 713-125
info@schoen-sandt.de
www.schoen-sandt.de

Schuler Pressen GmbH
Schuler-Platz 1
73033 Göppingen
Germany
Phone +49 71 6166-0
Fax +49 71 6166-233
info@schulergroup.com
www.schulergroup.com

Schüssler Technik GmbH & Co. KG
Im Altgefäll 10
75181 Pforzheim
Germany
Phone +49 7231 9616-0
Fax +49 7231 9616-16
info@schuessler-technik.de
www.schuessler-technik.de

SITEC Industrietechnologie GmbH
Bornaer Str. 192
09114 Chemnitz
Germany
Phone +49 371 4708-241
Fax +49 371 4708-240
info@sitec-technology.de
www.sitec-technology.de

SLCR Lasertechnik GmbH
Willi-Bleicher-Str. 11
52353 Düren
Germany
Phone +49 2421 9150-0
Fax +49 2421 9150-15
info@slcr.de
www.slcr.de

Stiefelmayer-Lasertechnik GmbH & Co. KG
Rechbergstr. 42
73770 Denkendorf
Germany
Phone +49 711 93440-0
Fax +49 711 93440-18
info@stiefelmayer-lasertechnik.de
www.stiefelmayer-lasertechnik.de

T

technotrans SE
Robert-Linnemann-Str. 17
48336 Sassenberg
Germany
Phone +49 2583 301-1000
Fax +49 2583 301-1030
info@technotrans.de
www.technotrans.de

Trotec Laser Automation GmbH
Planckstr. 12
88677 Markdorf
Germany
Phone +49 7544 9548-0
Fax +49 7544 9548-25
automation@troteclaser.com
www.trotec-marking.com

TRUMPF Laser GmbH
Aichhalder Str. 39
78713 Schramberg
Germany
Phone +49 7422 515-0
Fax +49 7422 515-108
info.yag@de.trumpf-laser.com
www.trumpf-laser.com

TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
Johann-Maus-Str. 2
71254 Ditzingen
Germany
Phone +49 7156 303-30862
Fax +49 7156 303-930862
info@trumpf-laser.com
www.trumpf-laser.com

TRUMPF Schweiz AG Lasertechnik
Trumpf Str. 8
7214 Grüsch
Switzerland
Phone +41 58 2576-161
info@lasermarking.trumpf.com
www.trumpf.com

W

Weil Technology GmbH
Neuenburgerstr. 23
79379 Müllheim
Germany
Phone +49 7631 1809-0
Fax +49 7631 1809-49
info@weil-technology.com
www.weil-technology.com

VDMA
Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme
Machine Tools and Manufacturing Systems

Lyoner Straße 16
60528 Frankfurt am Main
Germany
Phone +49 69 756081-22
Fax +49 69 756081-11
E-Mail m.foerster@vdw.de
Internet laser.vdma.org

laser.vdma.org

vf 916121