

FASZINATION **BLECH**

Ein Material mit grenzenlosen Möglichkeiten

IMPRESSUM

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder von Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Autorin, der Herausgeber sowie der Verlag versichern, dass die Inhalte dieses Buches gewissenhaft und sorgfältig auf Fehlerfreiheit überprüft worden sind. Verlag, Herausgeber und Autorin schließen eine Haftung aus, soweit gesetzlich zulässig.

Herausgeber Dr. Nicola Leibinger-Kammüller, TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen

Autorin Gabriela Buchfink

Projektleitung Frank Neidhart, Gabriela Buchfink

Projektbegleitung Dr. Nicola Leibinger-Kammüller, Dr. Klaus Parey, Ingo Schnaitmann

Gestaltung und Umsetzung Felix Schramm, Karen Neumeister (SANSHINE GmbH, Stuttgart)

Lektorat Steffen Sommer (Wortfreunde GmbH, Stuttgart)

Drucktechnische Koordination J. F. Steinkopf Druck GmbH, Stuttgart

Druck Rösler Druck GmbH, Schorndorf

Veredelung Oskar Imberger & Söhne GmbH, Stuttgart

Verarbeitung Josef Spinner Großbuchbinderei GmbH, Ottersweier

Bildbearbeitung Reprotechnik Herzog GmbH, Stuttgart

Verlag Vogel Buchverlag, Würzburg

ISBN-13 978-3-8343-3051-2

ISBN-10 3-8343-3051-5

LASERSCHNEIDEN

- 68 | SCHNEIDEN MIT LICHT**
Was macht den Laser so besonders?
Durch dicken Stahl wie durch Butter
Jung und doch schon etabliert
Ein Werkzeug – verschiedene Verfahren
- 74 | TECHNOLOGIEN UND METHODEN**
Zwei Laser zum Schneiden
Metalle trennen und noch mehr
Sauberer Schnitt: Qualitätskriterien
Viele Parameter – ein Strahl
Computer machen's handhabbar
Pluspunkte bei Rohren und Profilen
- 90 | DER LASERSTRAHL BRAUCHT DIE MASCHINE**
Welche Maschine für welches Werkstück?
Eine Laserschneidanlage im Detail
Sensoren – die Hüter des Prozesses
- 98 | WAS SICH AUTOMATISIEREN LÄSST**
Von der Job-Liste zum Teilestapel
Die nächste Düse bitte!
- 100 | DIE GESCHICHTE DES LASERS HAT ERST BEGONNEN**

Schneiden mit Licht

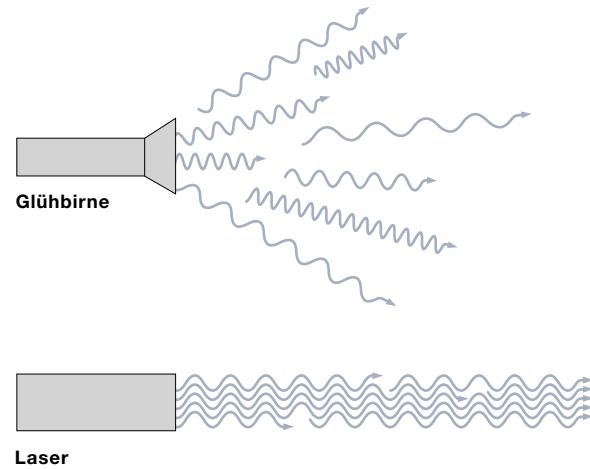
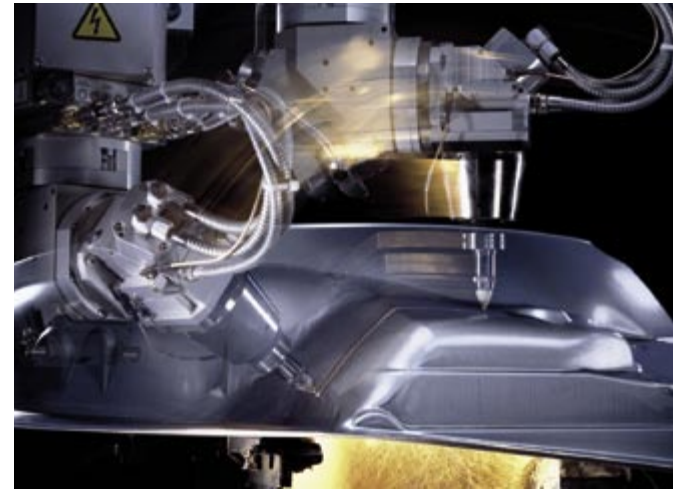
WAS MACHT DEN LASER SO BESONDERS?

Wo bei anderen Blechbearbeitungsverfahren massive Werkzeuge mit enormen mechanischen Kräften auf das Material einwirken, erledigt ein Laserstrahl seine Arbeit beim Laserschneiden berührungslos. Die Lichtwellen werden vom Material absorbiert und in Wärme umgewandelt. Das Blech erhitzt sich, schmilzt, verdampft oder verbrennt. Um dieses Werkzeug zu verstehen, lohnt es sich, zunächst den Laserstrahl genauer kennen zu lernen.

Von 1917 bis heute | Laser ist ein amerikanisches Kunstwort und steht für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Sinngemäß übersetzt: Lichtverstärkung durch angeregte Aussendung von Strahlung. Albert Einstein beschrieb 1917 das Prinzip der stimulierten Emission und schuf damit die theoretischen Grundlagen, die bis heute gültig sind. Der erste Laser wurde jedoch erst Jahrzehnte später gebaut: 1960 stellte Theodore H. Maimann seinen Rubinlaser vor.

Zusammen mit den ersten Laserstrahlen entstand eine Flut von Ideen und Visionen, was der Laser können sollte. Doch die ersten Laser konnten nur wenig davon in die Tat umsetzen. In den folgenden Jahren wurde intensiv geforscht. Heute ist der Laser ein Massenprodukt: In DVD- oder CD-Geräten, Scannerkassen oder Laser-Pointern begegnet einem der Laser im Alltag; und auch aus der Medizin- und Nachrichtentechnik sind Laser nicht mehr wegzudenken.

Als Schneidwerkzeug wurden Laser erstmals Anfang der 1970er Jahre an vorhandenen Maschinenkonzepten eingesetzt. Für den Durchbruch der Technologie sorgten die Maschinenhersteller. Sie begannen Mitte der 1980er Jahre, eigene Laseraggregate zu entwickeln und zu produzieren. Steigende Leistungen und höhere Schneidgeschwindigkeiten in immer dickerem Material erweiterten das Einsatzspektrum des Lasers.



Zum Vergleich: Licht einer Glühbirne und Laserlicht

- 1 Wo es leuchtet und spritzt, ist der Laser am Werk.
- 2 Der Modeschuss im Plexiglaszylinder macht die Leistungsdichte-Verteilung sichtbar.

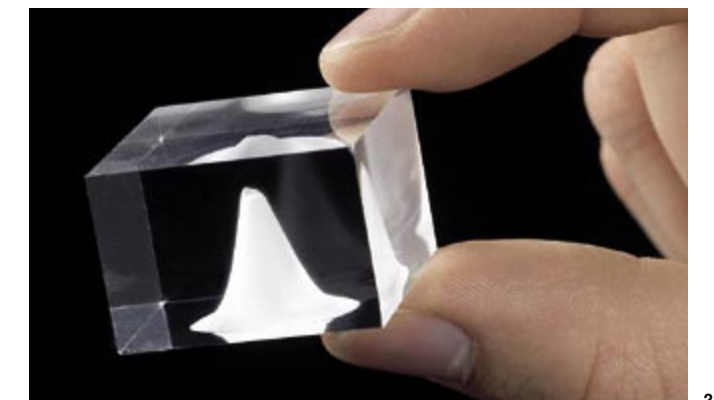
	Licht einer Glühbirne	Laserlicht
Entstehung	spontane Emission	stimulierte, angeregte Emission
Wellenlänge	verschiedene Wellenlängen (polychromatisch) im sichtbaren und infraroten Spektrum	eine Wellenlänge (monochromatisch)
Ausbreitung	radial, in alle Richtungen	gerichtet, Photonen laufen nahezu parallel zueinander
Kohärenz	nein	ja: Photonen schwingen im Gleichtakt
Leistungsspektrum	20 bis 200 Watt	200 bis 20 000 Watt im Dauerstrichbetrieb und bis 50 000 Watt als Leistungsspitze in kurzen Pulsen
Kleinstes Fokusbildmesser	mehrere Millimeter	1 bis 5 Zehntel-millimeter
Leistungsdichte im Fokus	100-Watt-Glühbirne: 0,08 Watt pro Quadrat-zentimeter	100-Watt-Laser: 800 000 Watt pro Quadrat-zentimeter

Im Überblick: Eigenschaften des Laserlichts und des Lichts einer Glühbirne

Laserlicht ist anders Eine Glühlampe strahlt Licht unterschiedlicher Wellenlängen in alle Richtungen ab. Die Energie verteilt sich auf einen großen Raum. Im Laserstrahl haben alle Lichtwellen die gleiche Wellenlänge und laufen nahezu parallel zueinander. Laserlicht ist also monochromatisch und gerichtet. Der Laserstrahl hat eine hohe Energiedichte und lässt sich auf einen kleinen Punkt fokussieren.

Eigenschaften des Laserlichts | Der Laserstrahl an sich kann noch nichts tun. Erst wenn er geführt, geformt und gebündelt ist, wird aus ihm ein Werkzeug. Seine Eigenschaften bieten dafür gute Voraussetzungen:

- **Wellenlänge** | Laserlicht ist monochromatisch. Das heißt, alle Lichtwellen haben die gleiche Wellenlänge.
- **Kohärenz** | Im Laserstrahl schwingen alle Lichtwellen im Gleichtakt.
- **Nahezu parallel** | Die Lichtwellen laufen nahezu parallel zueinander. Der Laserstrahl weitet sich daher nur in geringem Maße auf.
- **Leistungsdichte** | Die Leistungsdichte des Laserstrahls ist sehr viel höher als die von herkömmlichen Lichtquellen.
- **Innere Struktur – Mode** | Die Leistungsdichte im Laserstrahl kann unterschiedliche Strukturen aufweisen. Zum Schneiden verwendet man meist einen Laserstrahl, dessen Leistung sich in der Mitte des Querschnitts konzentriert und zum Rand hin abnimmt (Gauß-Verteilung).



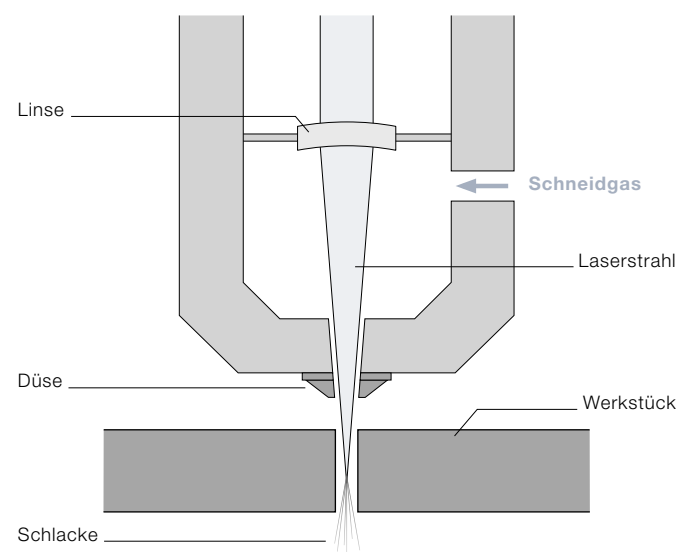
Kochen mit Sonnenlicht Wie viel Energie allein im Sonnenlicht steckt, sieht man an einer technischen Erfindung, die das Sonnenlicht so auf-fängt und fokussiert, dass man damit kochen kann. Als Herdplatte dient der Brennpunkt eines Spiegels, der die Form einer Satellitenschüssel hat. Durch die Paraboloid-Form werden die Sonnenstrahlen auf einen

Punkt fokussiert. Dort, wo sich bei der Satellitenschüssel die Empfänger-einheit befindet, steht beim Kochen mit dem Paraboloid-Spiegel der Topf auf einem Gestell. Die Erfindung wird bei Entwicklungsprojekten in Afrika eingesetzt, in Gegenden, in denen kaum Brennholz zu finden ist.

DURCH DICKEN STAHL WIE DURCH BUTTER

Zum Schneiden wird der Laserstrahl fokussiert. Seine ganze Leistung bündelt sich dann auf einen Punkt, dessen Durchmesser meist weniger als einen halben Millimeter beträgt. Wo der fokussierte Strahl auf das Werkstück trifft, beginnt das Metall sofort zu schmelzen. Teilweise verbrennt oder verdampft es sogar. Nach kurzer Zeit durchdringt der Laserstrahl das Material vollständig.

Nach dem Einstechen beginnt das eigentliche Schneiden. Der Laserstrahl bewegt sich entlang der Teilekontur und schmilzt das Material fortlaufend auf. Metallschmelze und -schlacke werden nach unten ausgeblasen. Dadurch entsteht ein enger Schnittspalt, der kaum breiter ist als der fokussierte Laserstrahl selbst.



Das Prinzip des Laserschneidens

Arbeitsprozess | Beim Schneiden bearbeitet der Laserstrahl das Blech Kontur für Kontur. Ausschnitte im Teil werden dabei immer vor der Außenkontur geschnitten.

Die Bearbeitung jeder Kontur beginnt mit dem Einstechen. Der Einstechpunkt liegt in der Regel etwas von der Kontur entfernt im Restgitter. In dickeren Blechen wird beim Einstechen Material nach oben ausgeworfen und das Einstechloch ist breiter als der spätere Schnittspalt. Nach dem Einstechen schneidet der Laserstrahl zunächst bis an die Kontur heran und beginnt erst dann, die eigentliche Kontur zu bearbeiten.

Schneidgas | Um Metallschmelze und -schlacke aus dem Schnittspalt zu blasen, benötigt man ein Schneidgas, das unter Druck in den Schnittspalt geleitet wird. Gasart und Gasdruck haben einen großen Einfluss auf den Schneidvorgang und das Schneidergebnis.



1

- 1 Düsen formen den Schneidgasstrom.
- 2 Der Laser schneidet filigrane Konturen und zentimeterdicken Stahl.

JUNG UND DOCH SCHON ETABLIERT

Laserschneiden ist ein vergleichsweise junges Verfahren. Mitte der 1980er Jahre erreichten die jährlichen Verkaufszahlen der Lasieranlagen gerade eben zweistellige Werte. In den nächsten Jahren stiegen sie enorm. Ende der 1990er Jahre verkauften führende Hersteller viele hundert Laserschneidanlagen pro Jahr. Diese Entwicklung scheint ungebrochen.

Das Laserschneiden hat sich seinen Platz neben anderen Trennverfahren wie Stanzen und Nibbeln, Wasserstrahlschneiden oder Plasmaschneiden erobert. Kein Wunder. Denn das Schneiden mit dem Laser bietet viele Vorteile:

- Ein einziges Werkzeug kann fast jede beliebige Form schneiden.
- Der Laser schneidet berührungslos und kräftefrei.
- An einer Maschine lassen sich sehr unterschiedliche Blechdicken bearbeiten – von 0,5 bis über 30 Millimeter.
- Der Laser trennt präzise, mit hoher Schneidgeschwindigkeit und einem kleinen Schnittspalt.
- Das Material neben dem Schnittspalt erwärmt sich kaum. Deshalb verziehen sich die Teile nicht.
- Sind die Parameter optimal eingestellt, fertigt der Laser hochwertige Schnittkanten mit geringer Rauigkeit und ohne Grat, die nicht mehr nachbearbeitet werden müssen.

EIN WERKZEUG – VERSCHIEDENE VERFAHREN

Die Schnittqualität und der Preis, zu dem sie zu haben ist, variieren erheblich. Verschiedene Schneidgase und -drücke beeinflussen den Bearbeitungsprozess und das Ergebnis. Wie so oft, gilt auch hier: Wer Wert auf schnell und günstig legt, muss bei der Qualität Abstriche machen.



2

Brennschneiden | Zum Brennschneiden wird Sauerstoff als Schneidgas eingesetzt. Der Sauerstoff wird mit Drücken von bis zu 6 bar in den Schnittspalt geblasen.

Im Schnittspalt reagiert die Metallschmelze mit dem Sauerstoff: Sie verbrennt und oxidiert. Die chemische Reaktion setzt sehr viel Energie frei. Diese Energie unterstützt den Laserstrahl. Brennschneiden erlaubt hohe Schneidgeschwindigkeiten in dünnen Blechen und das Bearbeiten dicker Bleche. Baustahl lässt sich beispielsweise in Dicken bis über 30 Millimetern schneiden.

Allerdings hat es auch Nachteile: Die Schnittkante ist mit einer Oxidschicht bedeckt. Bei Baustahl muss die Oxidschicht vor dem Lackieren oder Pulverbeschichten abgetragen werden. Denn auf der oxidierten Oberfläche haftet der Lack oder die Beschichtung schlecht. Wenn die Schutzschicht aufbricht, ist das Metall nicht mehr vor Korrosion geschützt.

Die Oxidschicht hebt auch den Korrosionsschutz von Edelstahl auf und stört beim Schweißen. Bei Bedarf müssen die Kanten deshalb nachbearbeitet werden.

Fazit: Brennschneiden ist für Baustahl günstiger und schneller als Schmelzschnitten. Es eignet sich dann, wenn die Oxidschicht an der Kante nicht stört oder die Kosten für Brennschnitt und Nacharbeiten günstiger sind als andere Schneidverfahren.

Schmelzschnitten | Zum Schmelzschnitten setzt man Gase wie Stickstoff oder Argon ein. Sie werden mit Drücken zwischen 2 und 20 bar durch die Schnittfuge getrieben. Im Gegensatz zum Brennschneiden reagiert das Schneidgas dabei nicht mit der Metalloberfläche im Schnittspalt. Man sagt daher, es sei inert. Das Gas bläst die Schmelze aus der Schnittfuge und schirmt die Schnittkante von der Luft ab. Stickstoff ist für fast alle Metalle geeignet. Die Ausnahme: Titan. Titan reagiert sowohl mit Sauerstoff als auch mit Stickstoff heftig und wird daher mit Argon geschnitten.

Schmelzschnitten hat den Vorteil, dass die Schnittkanten oxidfrei bleiben. Sie müssen nicht mehr nachbearbeitet werden. Allerdings steht zum Schneiden allein die Energie des Lasers zur Verfügung. Deshalb sind die Schneidgeschwindigkeiten nur in dünnen Blechen so hoch wie beim Brennschneiden. Auch das Einstechen wird erschwert. Einige Schneidanlagen bieten die Möglichkeit, mit Sauerstoff einzustechen und dann mit Stickstoff weiterzuschneiden.

Fazit: Mit Schmelzschnitten lassen sich Kanten erzielen, die grat- und oxidfrei sind. Die höhere Qualität kostet mehr Zeit und mehr Geld – aufgrund höherer Gas- und Energiekosten.

Mit Druckluft | Wer kein Gas kaufen möchte, kann zum Schneiden dünner Bleche auch Luft einsetzen. Druckluft mit

5 bis 6 bar genügt, um die Schmelze aus dem Schnittspalt zu blasen. Da Luft zu knapp 80 Prozent aus Stickstoff besteht, ist das Druckluftschneiden ein Schmelzschnidverfahren.

Auf den ersten Blick erscheint Druckluftschneiden als günstige Alternative zum Schneiden mit Stickstoff. Luft ist umsonst, sie muss aber komprimiert, getrocknet und entölt werden. Damit relativiert sich der Kostenvorteil gegenüber Stickstoff. Die Schnittkanten sind rauer als beim Schmelzschnitten mit Stickstoff. Welche Blechdicke geschnitten werden kann, hängt vom Druck ab, den das Druckluftnetz zur Verfügung stellt, und von der Laserleistung. Mit 5 Kilowatt Laserleistung und 6 bar Druck lässt sich etwa Blech mit einer Dicke von 2 Millimetern gratfrei schneiden. Die besten Ergebnisse liefert Druckluftschneiden in Aluminium.

Fazit: Wer mit Druckluft schneidet, ist vergleichsweise schnell, nimmt allerdings eine geringere Kantenqualität in Kauf und schneidet nicht immer günstiger ab.

Plasmaunterstützt | Bei allen bisher beschriebenen Verfahren wird die Metallschmelze schnell und vollständig aus dem Spalt geblasen. Beim plasmaunterstützten Schmelzschnitten mit dem CO₂-Laser ist das anders. Hier nutzt man einen Effekt, der auch beim Laserschweißen auftritt: Im Schnittspalt bildet

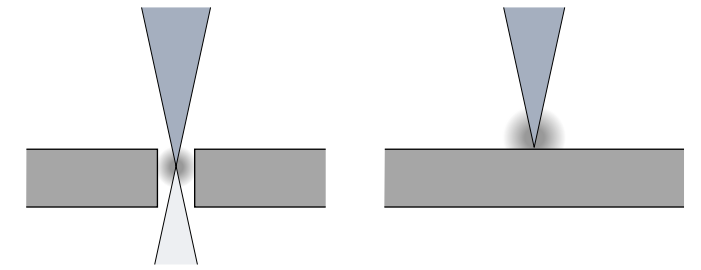


1

sich eine Plasmawolke, die aus ionisiertem Metall Dampf und ionisiertem Gas besteht. Plasma kann dann entstehen, wenn sich Schlacke, Schmelze und Gas in der Schnittfuge stauen. Plasma war lange Zeit ausschließlich Störfaktor und Alarmzeichen. Denn üblicherweise riss kurz nach Erscheinen der Plasmawolke der Schnitt ab: Der Laserstrahl drang nicht mehr ganz durchs Material; durch den Bearbeitungsfehler wurde das Teil unbrauchbar.

Dann zeigte sich, dass man mit Plasma schneller schneiden kann, wenn man die Parameter geschickt wählt. Durch das Plasma lässt sich mehr Energie in das Werkstück einbringen. Es schmilzt schneller auf. In dünnen Blechen erlaubt das Verfahren Schneidgeschwindigkeiten von 40 Metern pro Minute und mehr. Die Schnittkanten werden allerdings rauer als beim Schmelzschnitten. Die maximale Blechdicke hängt von der Laserleistung ab. Mit 6 Kilowatt Leistung lassen sich

Licht ohne Grenzen Man kann einen Laserstrahl so bündeln, dass er in der Lage ist, einen 1 000 Kilometer entfernten Teekessel aufzuheizen. Würde man den Laserstrahl bis zum Mond schicken – das sind immerhin 400 000 Kilometer –, so könnte man ihn immer noch erkennen: Als Kreis mit einem Durchmesser von 3,2 Kilometern.



Links: Plasma im Schnittspalt erhöht die Absorption des CO₂-Laserstrahls. Rechts: Plasma über dem Schnittspalt schirmt den Laserstrahl ab.

zum Beispiel 4 Millimeter dicke Aluminiumtafeln bearbeiten. Fazit: Plasmaunterstütztes Hochgeschwindigkeitsschneiden setzt man immer dann ein, wenn es besonders schnell gehen soll und die Rauigkeit der Kanten keine Rolle spielt.

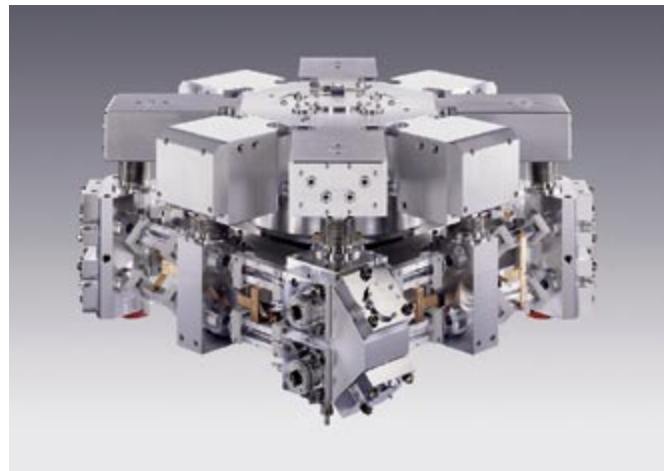
Weitere Anwendungen	Erläuterung	Anwendung
Microjoints	Kleine Stege bleiben in der Kontur stehen und halten die Teile im Restgitter. Die Teile werden von Hand herausgetrennt.	Kippgefahr beseitigen bei Teilen in dünnen Blechen, die nur auf einer Auflageleiste aufliegen. Automatisiertes Entladen: Teile und Restgitter werden gemeinsam entnommen.
Mikro-Schweißpunkte	Das geschnittene Teil wird mit einem oder mehreren kleinen Schweißpunkten wieder mit der Resttafel verbunden. Der Schweißpunkt ist später sichtbar.	Kippgefahr beseitigen bei Teilen in mittleren Blechdicken. Allerdings nur geeignet, wenn keine perfekten Kanten gebraucht werden.
Kennzeichnen und Körnen	Der Laserstrahl trägt das Material oberflächlich ab oder verfärbt es, und erzeugt so Markierungen.	Teile beschriften. Fügestellen oder Bohrlöcher markieren.

Die Laserschneidanlage kann noch mehr: weitere Anwendungen im Überblick.

ZWEI LASER ZUM SCHNEIDEN

In der industriellen Materialbearbeitung haben sich CO₂-Gaslaser und Festkörperlaser etabliert. Beide liefern die hohen Leistungen, die passenden Wellenlängen und die gute Strahlqualität, die fürs Laserschneiden gebraucht werden. Gleichzeitig sind Laseraggregate und Maschinenkomponenten so ausgereift, dass sie auch unter Produktionsbedingungen im Mehrschichtbetrieb zuverlässig funktionieren.

CO₂-Gaslaser | Ein echtes Arbeitstier – diese Worte beschreiben die Rolle und Bedeutung des CO₂-Lasers am besten. Mit Leistungen von bis zu 6 Kilowatt schneidet er Stähle von 0,5 bis über 30 Millimeter Dicke. Die volle Leistung erreicht der CO₂-Laser im Dauerstrichbetrieb. Darunter lässt sie sich beliebig regeln, indem der Laserstrahl nicht mehr kontinuierlich erzeugt wird, sondern in sehr kurzen Pulsen. Die mittlere Laserleistung ergibt sich dann aus Pulsfrequenz, Pulsdauer und Pulsleistung.



1

Das Licht des CO₂-Lasers liegt im fernen Infrarot, mit einer Wellenlänge von 10 600 Nanometern. Es entsteht in einem Gasgemisch aus Kohlendioxid (CO₂), Stickstoff (N₂) und Helium (He). Das Kohlendioxidmolekül sendet das Laserlicht aus, die anderen Gase unterstützen den Laserprozess. Üblicherweise wird der Strahl über Spiegel umgelenkt und schließlich mit einer Linse oder einem Spiegel fokussiert.

Festkörperlaser | Festkörperlaser sind Spezialisten für Filigranes und Feines, können aber auch Stahlbleche von bis zu 10 Millimeter Dicke schneiden. Das Laserlicht von Festkörperlasern entsteht in dotierten Kristallen, zum Beispiel in einem Yttrium-Aluminium-Granat, in dessen Gitter einzelne Neodym- oder Ytterbium-Ionen eingebunden sind. Die Wellenlänge des Laserlichts hängt von den laseraktiven Ionen ab. Sie liegt bei 1 030 Nanometern (Ytterbium) oder 1 064 Nanometern (Neodym) und damit im nahen Infrarot, außerhalb des sichtbaren Spektrums. Diese Wellenlängen bieten den Vorteil,



2

dass sich der Laserstrahl in Glasfasern führen lässt. Er wird in so genannten Laserlichtkabeln vom Laseraggregat zur Arbeitsstation geleitet und verliert dabei weder Leistung noch Strahlqualität. Typische Weglängen betragen 10 bis 50 Meter; möglich sind aber auch über 100 Meter.

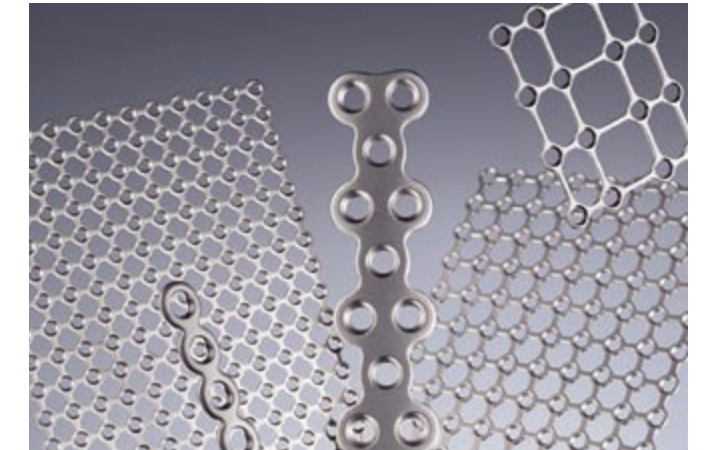
Die Leistungen von Festkörperlasern, die zum Schneiden eingesetzt werden, liegen zwischen 0,2 und 3 Kilowatt. Häufig werden Festkörperlaser im Pulsbetrieb eingesetzt. Die Spitzenleistung der Pulse ist dann höher als die maximale Leistung des CO₂-Lasers. Sie reicht bis zu 50 Kilowatt. Kurze, energiereiche Pulse mit einigen Kilowatt werden genutzt, um sehr feine Konturen zu schneiden. Die Maße liegen oft im Zehntelmillimeterbereich, etwa bei Implantaten oder elektronischen Bauteilen. Spitzenpulse von bis zu 50 Kilowatt setzt man vor allem zum Bohren ein.

METALLE TRENNEN UND NOCH MEHR

Für jedes Material gilt: Wenn der Laserstrahl in der Lage ist, es aufzuschmelzen, kann es auch geschnitten werden. Dazu muss das Material örtlich bis zur Schmelztemperatur erhitzt werden. Dies gelingt nur, wenn genügend Energie aus dem Laserstrahl vom Material absorbiert und die Wärme nicht zu schnell abgeleitet wird. Anhand des Absorptionsgrades und der Wärmeleitfähigkeit des Materials lässt sich beurteilen, wie gut der Laser es bearbeiten kann.

Stähle | Bei den unlegierten und hochlegierten Stahlblechen liefern Baustähle und nichtrostende Stähle sehr gute Schneidenresultate. Das liegt daran, dass Eisen und Legierungsbestandteile wie Chrom oder Nickel die Laserenergie gut absorbieren und die Wärme relativ langsam weiterleiten. Stahlhersteller bieten mittlerweile spezielle Feinkornstähle an, die für das Laserschneiden optimiert sind.

- 1 Quadratisch aufgebaut: ein geströmter CO₂-Laser mit 6 Kilowatt
- 2 Für den unteren Leistungsbereich: ein diffusionsgekühlter CO₂-Laser
- 3 Filigrane Implantate erfordern die Feinarbeit des Festkörperlasers.
- 4 Der Scheibenlaser ist ein typischer Festkörperlaser.



3



4

Nichteisenbleche | Aluminiumlegierungen, Titan und Titanlegierungen lassen sich gut schneiden. Wenn reines Aluminium mit dem CO₂-Laser geschnitten wird, bildet sich bei Blechdicken ab 6 Millimetern ein Grat.

- 1 Das Laserlichtkabel führt den Strahl des Festkörperlaser.
- 2 Der Laser schneidet auch andere Werkstoffe, zum Beispiel Halbleiter.

Bunt- und Edelmetalle | Bunt- und Edelmetalle lassen den CO₂-Laser an seine Grenzen stoßen: Diese Metalle haben zum einen eine hohe Wärmeleitfähigkeit, zum anderen absorbieren sie die Energie des Laserstrahls kaum. Der CO₂-Laserstrahl wird zum größten Teil reflektiert. Die Wellenlänge des Festkörperlaser wird hingegen besser absorbiert. Deshalb wird er zum Beispiel in der Schmuckindustrie eingesetzt und bearbeitet dort Gold und Silber.

Exoten | Der Vollständigkeit halber muss man erwähnen, dass Laser nicht nur Metalle schneiden können. Pappe, Holz, Leder, Keramik, Glas und Kunststoffe lassen sich mit dem CO₂-Laser ebenfalls trennen. Festkörperlaser schneiden auch Silizium in der Halbleitertechnik. Allerdings entstehen bei diesen Werkstoffen andere Gase und Gefahrenstoffe als beim Schneiden von Blech. Deshalb sind dafür spezielle Laserschneidanlagen nötig.



1

SAUBERER SCHNITT: QUALITÄTSKRITERIEN

Die Qualität einer lasergeschnittenen Kante bewerten Verfahrenstechniker mit Hilfe von messbaren und optischen Kriterien. Zu den messbaren Kriterien gehören Rautiefe, Rechtwinkligkeit und Spaltbreite. Bei den optischen Kriterien genügt es, das Teil anzuschauen und anschließend die Bewertung in Worten auszudrücken. Zu diesen Kriterien gehören: Grat, Kolkungen, Riefennachlauf, Auswaschungen und die Wärmeeinflusszone.

In der Praxis relevant | Um die Schnittqualität umfassend zu beurteilen, sollten sowohl optische als auch messbare Kriterien berücksichtigt werden. In der Praxis gilt es abzuwägen, welche Kriterien für die Funktion des Teiles wichtig sind. Anschließend können gezielt diese Kriterien geprüft und der Schneidprozess daraufhin optimiert werden. Doch welche Kriterien sind wann relevant?



2

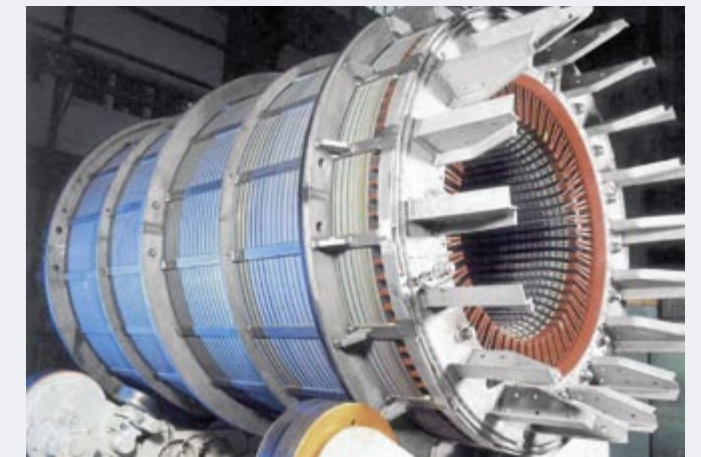
STROM FÜR 140 000 EINWOHNER

Strom kommt aus der Steckdose. Das weiß jedes Kind. Wie Strom hergestellt wird, lernt man im Physikunterricht: Generatoren wandeln mechanische Energie – also Bewegung – in elektrische Energie um. Aber was haben Generatoren mit Lasern zu tun? Günter Seidel, Laserbeauftragter im Generatorenwerk Erfurt der Siemens Power Generation, weiß die Antwort: „Bei der Herstellung eines Generators schneidet der Laserstrahl die Blechteile, aus denen der äußere Mantel, der Stator, und der sich drehende Kern, der Rotor, aufgebaut sind.“ Im Generator erzeugt der Stator ein Magnetfeld, in dem sich der Rotor dreht. Dabei entsteht im Rotor Strom – je nach Erfurter Generatorgröße bis zu 85 Megawatt. „Genug Energie für eine Stadt mit 140 000 Einwohnern“, erklärt Seidel.

Der Stator und Teile des Rotors bestehen aus abertausenden von Blechen. „Wir bauen Generatoren mit bis zu 9 Meter Länge. Allein das Statorblechpaket kann aus bis zu 160 000 einzelnen Blechteilen bestehen“, erläutert Günter Seidel. Diese Blechteile sind Kreissegmente, die an der Außen- oder Innenseite Zähne besitzen – ähnlich wie ein Kamm. In den Zwischenräumen sitzen die Spulen und Wicklungen, die das Magnetfeld erzeugen und in denen der Strom entsteht.

Der Werkstoff: 0,5 bis 1 Millimeter dicke Bleche mit hohem Siliziumanteil, die gute magnetische Eigenschaften aufweisen, so genannte Elektrobleche. Damit im Generator kein Kurzschluss entsteht, sind die Bleche mit einer hauchdünnen Lackschicht versehen. Für die Teile gelten strenge Kriterien. Seidel fasst zusammen: „Die Kante muss absolut gratfrei und die Schnittfuge konstant sein. Die Toleranzen liegen bei 0,05 Millimetern.“ Lange konnte dies nur die Stanzmaschine

„Obwohl Laserschneiden nun auch schon einige Jahrzehnte alt ist, hat es etwas vom Glanz des Modernen. Bei den extrem schnellen Schneidstrategien gerät so mancher alte Hase ins Staunen. Es fasziniert auch mich immer wieder, mit welcher Geschwindigkeit und Eleganz sich der Schneidkopf bewegt, und wie der Laserstrahl scheinbar mühelos durch zentimeterdickes Blech schneidet.“ Jörg Müller, Dokumentation



Stromlieferant: In Generatoren sind bis zu 160 000 Blechteile verbaut.

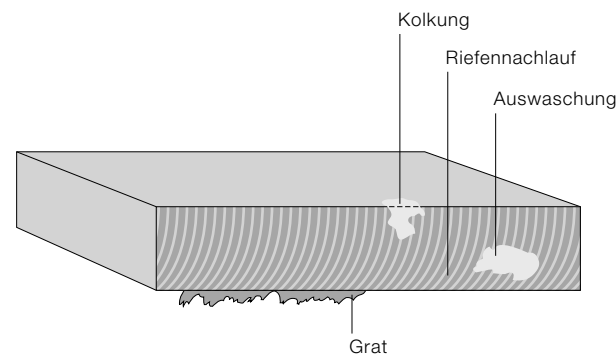
leisten, doch nun übernimmt die Laserschneidanlage diese Aufgabe. Und Laserschneiden hat einen großen Vorteil: Der Laser ist flexibel. Er schneidet die großen Kreissegmente genauso wie die für kleinere Generatoren. „Das spart uns die verschiedenen Stanzwerkzeuge“, berichtet Seidel. In seiner Produktion steht eine Laserschneidanlage mit zwei Schneidköpfen, die jeweils 2 gleiche Teile auf einmal herstellt. Damit verdoppelt sich die Stückzahl pro Zeiteinheit.

Die Laserschneidanlage hat einiges verändert. „Wir können nun in kurzer Zeit neue Konstruktionen fertigen und testen, weil wir dazu keine Stanzwerkzeuge mehr benötigen“, sagt Seidel. Eine weitere Anwendung: Ersatzbleche. „Immer wieder schneiden wir Ersatzbleche für Generatoren, deren Stanzformen schon lange weggeworfen wurden. Keine Frage: Der Laser ist für uns ein wertvoller Partner geworden.“

- 1 Das Verfahren bestimmt das Ergebnis: schnell und rau mit plasma-unterstütztem Schmelzschnitten (hinten), langsamer und glatt mit konventionellem Schmelzschnitten (vorne).



1



Gut oder schlecht? Kriterien für die Qualität der Schnittkante.

Rautiefe | Wenn der Laserstrahl die Kontur schneidet, bilden sich an den Schnittflächen senkrechte Riefen. Die Tiefe dieser Riefen wird als Rautiefe bezeichnet. Die Rautiefe wirkt sich auf das Aussehen der Kante und auf ihre jeweilige Funktion aus. Wenn Sichtkanten ohne Nachbearbeitung geschnitten werden sollen oder wenn die Schnittfläche auf anderen Bauteilen entlanggleiten soll, muss die Rautiefe möglichst gering sein. In dünnen Blechen bis 4 Millimeter ist die durchschnittliche Rautiefe sehr gering und beträgt meist weniger als 10 Mikrometer. Mit zunehmender Blechdicke nimmt die Rautiefe zu.

Rechtwinkligkeit | Die Rechtwinkligkeit der Schnittkante kommt vor allem bei Teilen mit Blechdicken über 10 Millimetern zum Tragen. Sie beschreibt, ob und wie stark der Kantenverlauf von der Senkrechten abweicht. Bei einer Blechdicke von 10 Millimetern lässt sich beispielsweise eine Abweichung von nur 0,1 Millimeter erreichen.

Spaltbreite | Die Spaltbreite wirkt sich in den meisten Fällen nicht auf die Qualität des geschnittenen Teiles aus. Sie wird dann wichtig, wenn besonders feine Konturen oder Spalte innerhalb des Teils geschnitten werden. Die Spaltbreite steigt mit zunehmender Blechdicke. Bei Materialdicken von wenigen Millimetern beträgt sie rund 0,15 Millimeter. Bei großen Dicken ab 20 Millimetern wird der Schnittspalt bis zu einem halben Millimeter breit.

Riefennachlauf | In dicken Blechen und bei hohen Geschwindigkeiten tritt die Metallschmelze nicht mehr senkrecht unter dem Laserstrahl aus, sondern leicht dahinter. Die Riefe, die sich beim Schneiden bildet, ist ebenfalls nach hinten gekrümmt. Sie läuft sozusagen nach.

Filmhelden sind keine Laserprofis | Filmhelden setzen gerne auf den Laser, um sich aus brenzligen Situationen zu befreien. So auch James Bond. Der zerschnitt schon vor Jahren eine Stahltür mit einem leuchtend roten Laserstrahl. So beliebt Laser im Film sind, so unrealistisch ist

meist ihre Anwendung. Ein unfokussierter Laserstrahl, ohne Schneidoptik und Schneidgas, kann Stahl eben nicht durchtrennen. Wer in der Klemme steckt, sollte sich also nicht auf seinen roten Laserpointer verlassen.

Der Riefennachlauf wird zwar zur Beurteilung der Schnittqualität herangezogen. Für die Funktion des Teils ist dieses Qualitätskriterium aber meist nicht relevant.

Er kann sich allerdings während der Bearbeitung störend auswirken. Beim Ausschneiden einer Bohrung bleibt beispielsweise an der Unterseite des Schnittes ein Zwickel stehen. Um ihn zu eliminieren, wird am Ende des Schnittes die Vorschubgeschwindigkeit so weit reduziert, dass der Riefennachlauf weitgehend abgebaut ist.

Gratfreiheit | Gratfreiheit ist eines der wichtigsten Qualitätskriterien für Laserschnitte. Denn zum Entgraten der Kanten ist immer ein zusätzlicher Arbeitsgang nötig. Beim Laserschneiden können sich unterschiedliche Grate bilden, vom krümeligen Schlackerest, der sich leicht entfernen lässt, bis zum scharfen metallischen Grat, der fest an der Kantenunterseite haftet.

Kolkungen und Auswaschungen | Kolkungen und Auswaschungen unterbrechen die regelmäßige Schnittfläche. Sie stören das Aussehen und zählen zu den groben Schnittfehlern, die es generell zu vermeiden gilt. Dabei spielt auch die Blechqualität eine Rolle: Bei weniger hochwertigen Blechen können Fremdstoffe eingeschlossen sein, zum Beispiel Sulfide, die unkontrolliert abbrennen und Kolkungen oder Auswaschungen verursachen.

Wärmeeinflusszone | Wo das Werkstück beim Bearbeiten stark erhitzt wird, kann es sich verfärben oder verformen. Der Bereich, in dem das Werkstück thermisch belastet wird, heißt Wärmeeinflusszone. Sie beträgt beim Laserschneiden jedoch nur wenige Zehntelmillimeter. Für die Funktion des Teiles spielt sie normalerweise keine Rolle.

VIELE PARAMETER – EIN STRAHL

Laserschneiden ist ein komplexer Vorgang, den sehr viele Parameter beeinflussen. Ein Teil der Parameter ist bereits durch die technischen Daten und den Aufbau der Laserschneidanlage festgelegt. Die anderen müssen Bediener und Programmierer festlegen und optimieren. Wichtige Parameter sind:

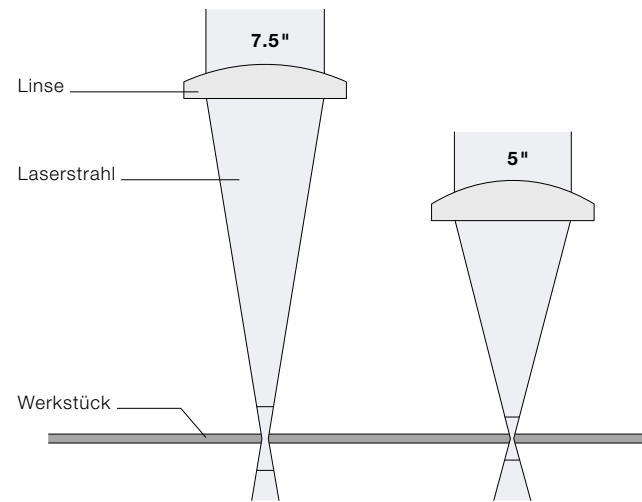
- Maschinenparameter, wie Linsenbrennweite und Düsendurchmesser
- Laserparameter, wie Laserleistung und Betriebsart
- Prozessparameter, wie Schneidgeschwindigkeit, Gasart und Gasdruck sowie Fokuslage
- Werkstückparameter, wie Materialdicke, Materialoberfläche, Legierung und Werkstückgeometrie

Einige dieser Parameter beeinflussen das Schneidergebnis besonders stark. Sie werden in den nächsten Absätzen genauer vorgestellt.

Linsenbrennweite | Im Schneidkopf fokussiert die Linse den Laserstrahl, bevor er auf das Werkstück trifft. Zum Laserschneiden verwendet man Linsen mit unterschiedlichen Brennweiten für verschiedene Materialarten und -dicken. Entscheidend für die Wahl der Linse sind Fokusbrennweite und Fokustiefe – auch Schärfentiefe genannt.

Die Linsenbrennweite gibt an, in welchem Abstand zur Linse sich der Fokus befindet. Darüber hinaus bestimmt sie auch Fokusbrennweite und Fokustiefe. Dabei gilt: Je kleiner die Linsenbrennweite ist, desto kleiner sind auch der Fokusbrennweite und die Schärfentiefe. Typische Linsenbrennweiten reichen von 3,75 bis 10 Zoll. Die 5-Zoll-Linse wird für Materialdicken bis 3 Millimeter bei Laserleistungen

Geballte Energie Laserlicht lässt sich gut fokussieren. Die Leistung eines CO₂-Lasers mit 2,6 Kilowatt kann auf einen Brennfleck mit 0,15 Millimeter Durchmesser gebündelt werden. Die mittlere Leistungsdichte beträgt dann 15 Megawatt pro Quadratzentimeter. Zum Vergleich: Eine Kochplatte mit 1 Kilowatt Leistung und 15 Zentimeter Durchmesser hat eine Intensität von 5,6 Watt pro Quadratzentimeter. Die Intensität des Lasers ist im Vergleich rund 2,7 Millionen Mal höher.

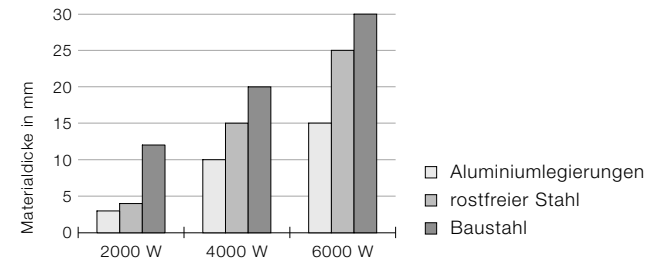


Die Linsenbrennweite bestimmt, wie stark der Laserstrahl fokussiert wird.

von 5 Kilowatt eingesetzt. Für dickere Bleche nutzt man die 7,5-Zoll-Linse mit dem größeren Fokussdurchmesser und der größeren Schärfentiefe.

Düsendurchmesser | Beim Laserschneiden tritt das Schneidgas durch das Düsenloch aus. Der Lochdurchmesser bestimmt die Gasmenge und die Form des Gasstroms. Beim Schneiden von dünnen Blechen genügt bereits ein feiner Gasstrahl, um Metallschmelze und -schlacke aus dem Spalt zu blasen. Je dicker das Material ist, desto größer muss der Durchmesser des Gasstrahls sein.

Aus diesem Grund werden verschiedene Düsen mit unterschiedlichen Durchmessern eingesetzt. Gängig sind Durchmesser zwischen 0,6 und 3 Millimetern. Sie eignen sich sowohl für Sauerstoff als auch für Stickstoff.



Mit höheren Laserleistungen lassen sich dickere Materialien trennen.

Laserleistung | Welche Leistung zum Schneiden benötigt wird, hängt von der Art und Dicke des Materials ab. Deshalb muss die Laserleistung angepasst werden. Die obere Grenze bildet die maximale Leistung des Lasers. Darunter lässt sich die Leistung variieren. Niedrige Laserleistungen zwischen 80 und 180 Watt werden außerdem eingesetzt, um Teile zu beschriften, zum Beispiel mit Identnummern. Weitere Anwendungen sind das Körnen oder das Abdampfen der Folie von folienbeschichteten Edelstahlblechen.

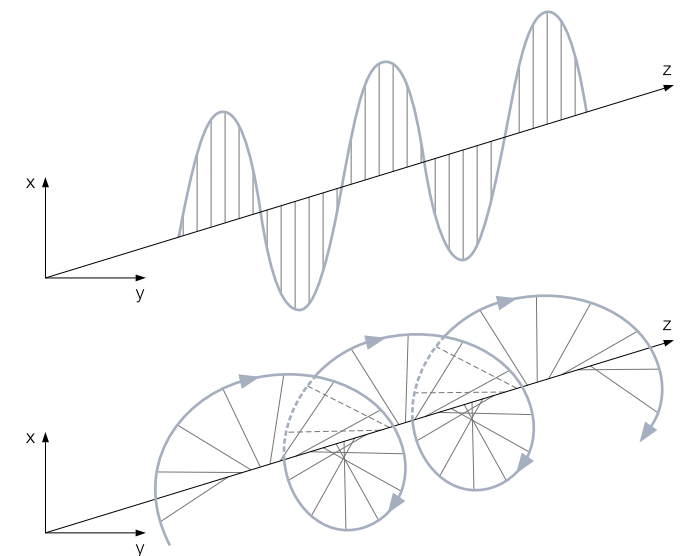
Strahlqualität | Die Strahlqualität sagt aus, wie gut sich der Laserstrahl fokussieren lässt. Laserhersteller bauen ihre Laseraggregate so, dass sie Laserstrahlen mit hoher Strahlqualität liefern. Die Strahlqualität hängt vom Laser ab. Sie lässt sich außerhalb des Lasers nicht mehr verbessern.

Polarisationsgrad | Unter Polarisation versteht man die Schwingungsrichtung der Lichtwellen im Laserstrahl. Einige CO₂-Laser erzeugen linear polarisiertes Laserlicht, in dem alle Lichtwellen sinusförmig und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen. Schneidet man mit diesem Laserstrahl eine Kontur, so erhält man je nach Richtung unterschiedliche Ergebnisse: Schwingt das Licht parallel zur Schneidrichtung,

wird die Kante glatt. Schwingt das Licht senkrecht zur Schneidrichtung, entsteht ein Grat. Im Extremfall trennt der Laser das Material nicht mehr.

Deshalb arbeitet man beim Schneiden mit CO₂-Lasern mit zirkular polarisiertem Licht, das kreisförmig zur Ausbreitungsrichtung schwingt. Damit lässt es sich in alle Richtungen gleich gut schneiden. Speziell beschichtete Umlenkspiegel wandeln das linear polarisierte Licht in zirkular polarisiertes um. Entscheidend für die Schnittqualität ist der Polarisationsgrad. Er gibt an, wie gut die angestrebte zirkulare Polarisation erreicht wurde. Typische Werte liegen bei 90 Prozent.

Bei Festkörperlaser muss die Polarisation nicht verändert werden: Nach dem Laserlichtkabel haben die Lichtwellen ganz unterschiedliche Schwingungsrichtungen. Der Laserstrahl ist statistisch polarisiert. Er liefert ebenfalls richtungsunabhängige Schneidergebnisse.



Linear polarisiertes Laserlicht (oben), zirkular polarisiertes Laserlicht (unten)

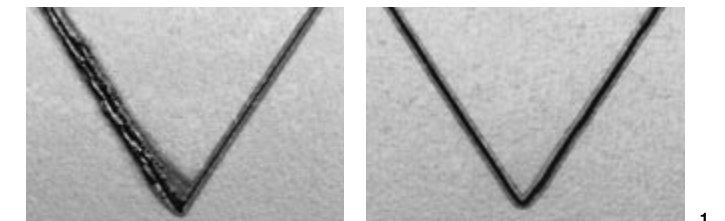
1 Links: Linear polarisiertes Laserlicht liefert eine ungleichmäßige Kante. Rechts: Gleichmäßiger Schnitt dank zirkularer Polarisation.

Schneidgeschwindigkeit | Laserleistung und Schneidgeschwindigkeit müssen immer zueinander und zum Werkstück passen. Bei zu hohen oder zu niedrigen Schneidgeschwindigkeiten steigt die Rautiefe der Kontur, und ein Grat entsteht. Im äußersten Fall führt eine zu hohe Geschwindigkeit dazu, dass das Material nicht durchtrennt wird und der Schnitt abreißt. Allgemein gilt: Die Schneidgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Materialdicke ab.

Betriebsart | Die meisten Laser können ihr Licht auf zwei Arten abgeben: kontinuierlich im Dauerstrichbetrieb oder in kurzen Lichtpulsen im Pulsbetrieb. Die Kenngrößen des Pulsbetriebs sind Pulsleistung, Pulsdauer und Pulsfrequenz.

Hohe Pulsfrequenzen liegen im Bereich von einigen tausend Pulsen pro Sekunde. Diese Form des Pulsbetriebs wird eingesetzt, um die Laserleistung kontinuierlich zu regeln und sie so fortlaufend der Bearbeitungsaufgabe anzupassen. Ein Beispiel: Ein CO₂-Laser erzeugt in einer Sekunde 1000 Pulse mit einer Dauer von 0,1 Millisekunden und einer Laserleistung von 5 Kilowatt. Zwischen den einzelnen Pulsen liegen kurze Pausen. In dieser Zeit sendet der Laser kein Licht. Die Leistung des 5-Kilowatt-Lasers beträgt dann nur noch 0,5 Kilowatt und ist damit auf 10 Prozent reduziert.

Mit sehr niedrigen Pulsfrequenzen arbeitet der Laser dann, wenn filigrane Konturen geschnitten werden, bei denen



1 Filigrane Schneidaufgabe: Die Stege dieses Zentriersterns sind nur 0,16 Millimeter breit.

Durchmesser und Stegbreiten deutlich kleiner sind als die Blechdicke. Ein Beispiel ist der unten abgebildete Zentrierstern. Die Stege sind nur 0,16 Millimeter breit, die Blechdicke beträgt hingegen 1,5 Millimeter. Der Laser schneidet die Stege mit 10 Pulsen pro Sekunde und mit einer sehr niedrigen mittleren Leistung. Lange Pausen zwischen den Pulsen bewirken, dass die Wärme abfließt.

Gasreinheit und Gasdruck | Gasreinheit und Gasdruck beeinflussen das Schneidergebnis ebenfalls.

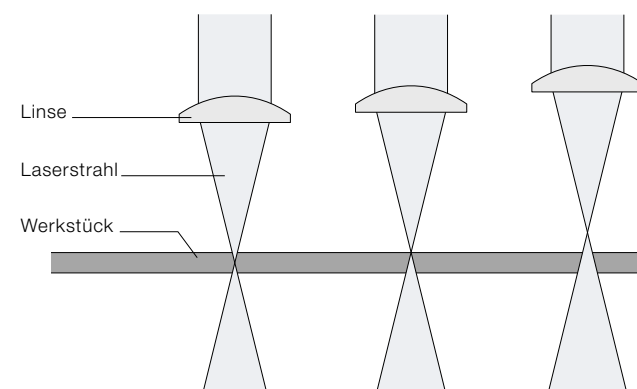
Zum Brennschneiden mit Sauerstoff muss das Gas sehr rein sein. Schon bei einem Stickstoffgehalt von 0,4 Prozent kann sich ein Grat bilden. Qualitäten, die speziell für das Laserschneiden angeboten werden, garantieren die geforderte Reinheit von 99,95 Prozent. Bei gängigen Stählen sinkt der Gasdruck mit zunehmender Materialdicke. Der Grund: Dünne Materialien werden mit hoher Geschwindigkeit geschnitten. Der hohe Gasdruck hilft, die Schmelze schnell genug aus dem Schnittspalt zu treiben. Bei größeren Dicken wird der



Gasdruck reduziert, da sonst der Oxidationsprozess unkontrolliert ablaufen und zu Schneidfehlern führen würde.

Zum Schmelzschnneiden mit Stickstoff sind sogar Gasreinheiten von 99,995 Prozent (optimal 99,999 Prozent) nötig, weil schon geringste Verunreinigungen mit Sauerstoff (0,02 Prozent) zur Oxidation der Schnittfläche führen. Anders als beim Brennschneiden werden beim Schmelzschnneiden für dickere Materialien höhere Gasdrücke und damit höhere Volumenströme benötigt, um die zähflüssige Schmelze aus dem Schnittspalt zu blasen.

Fokuslage | Die Fokuslage wirkt sich auf die Vorgänge im Schnittspalt aus und beeinflusst die Form des Schnittspaltes. Im Fokus ist die Intensität, die Leistungsdichte, am größten. Danach weitet sich der Strahl auf, und die Leistungsdichte nimmt ab. Beim Brennschneiden liegt der Fokus in der Nähe der Materialoberfläche. Beim Schmelzschnneiden liegt er tiefer im Material. Für beide Verfahren gelten für jede Materialdicke eigene Werte für die optimale Fokuslage.



1 Fokuslage: im Werkstück, an der Oberfläche und über dem Werkstück

Je dünner, desto schneller Wenn die Lasermaschine viele komplexe Teile aus einer 20 Millimeter dicken Blechtafel schneidet, kann der Bediener sie für die nächsten 2 Stunden getrost allein lassen. Liegt eine gleich große Blechtafel mit 2 Millimeter Dicke auf, muss er sich dagegen mit dem Be- und Entladen beeilen: Denn die Maschine ist in wenigen Minuten fertig und bereit für die nächste Blechtafel.

MESSEN, SCHNEIDEN, SCHWEISSEN

Wie von Geisterhand gelenkt gleitet die Rohkarosse in die Fertigungszelle, wo ein optisches Messgerät und zwei Roboter auf sie warten. Das Messgerät beginnt zu arbeiten. Es misst Länge und Position der Längsträger links und rechts im Motorraum. Dann nähern sich die Roboter und schneiden die Längsträger zu. Anschließend schweißen sie eine Schottplatte auf jedes Rohr. In rund einer Minute ist der Spuk vorbei, die Zelle öffnet sich, und das nächste Fahrzeug gleitet hinein.

Klaus Löffler, Leiter der Produktionstechnik Fügen bei VW in Wolfsburg, hat die Fertigungszelle mit aufgebaut und ist von ihr überzeugt. „Aus der Fertigung bei VW sind die Laser nicht mehr wegzudenken. Die Zelle zeigt, wie gewinnbringend sich optische Technologien kombinieren lassen.“

Wenn die Karosse in die Fertigungszelle kommt, kann die Länge der Längsträger von Fahrzeug zu Fahrzeug um einen Millimeter schwanken, danach aber muss die Position der Schottplatte auf 0,1 Millimeter genau stimmen. „Das Messsystem und die automatische Anpassung der Schneid- und Schweißprogramme ersetzen die genaue Ausrichtung, die früher nötig war, und erlauben größere Toleranzen in den vorigen Fertigungsschritten“, berichtet Klaus Löffler.

Der Schneidvorgang sieht zwar einfach aus, er birgt jedoch besondere Anforderungen. „Der Schnitt muss so perfekt sein, dass wir ohne Nacharbeit sofort schweißen können“, so Löffler. Das bedeutet: Die Schnittflächen müssen rechtwinklig und spritzerfrei sein und außerdem eine raue Oberfläche aufweisen. Denn beim Aufschweißen der verzinkten Schottplatte verdampft die Zinkschicht in der Naht, und der Dampf muss über die Riefen entweichen können. Damit die Roboter sowohl



In der Fertigungszelle bei VW wird gemessen, geschnitten und geschweißt.

schneiden als auch schweißen können, sind sie jeweils mit einer Schneid- und einer Schweißoptik ausgestattet, die um 90 Grad versetzt angeordnet sind. Zu jeder Optik verläuft ein Laserlichtkabel. „Die Roboter greifen über das Lasernetzwerk auf den Laserpool zu, der 25 Meter entfernt steht“, erläutert der Laserexperte. Ein ausgeklügeltes Steuerungssystem sorgt dafür, dass die Lasergeräte in Pausen von anderen Fertigungsstationen ausgelastet werden.

„Die kombinierte Fertigungszelle verfolgt den Ansatz, die Karosse zunächst kostengünstig zu fertigen und die Genauigkeit im letzten Teilschritt hinzuzufügen“, so Klaus Löffler. „Das bedeutet Kostenvorteile und Qualitätssicherung in einem.“ Zwei gute Gründe, warum man die Fertigungszelle mit dem Messsystem und den zwei Schneid-Schweiß-Robotern in den Fertigungsstraßen mehrerer Baureihen antrifft.

COMPUTER MACHEN'S HANDHABBAR

Zum Glück entstanden die ersten Laserschneidanlagen erst im Zeitalter der NC- und CNC-Technik. Denn manuell hätte man die komplexen Vorgänge beim Laserschneiden wohl kaum berechnen, festlegen und steuern können. Programmiersysteme

und Steuerungstechnik sind auch heute noch der Grund dafür, dass Programmierer und Bediener gerne an der Laserschneidanlage arbeiten. Denn sie nehmen ihnen jede Menge Rechenarbeit ab und machen das Laserschneiden zu einem sicheren und problemlosen Verfahren.

Allgemeine Parameter															
Materialdicke	mm	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25
Linsenbrennweite	Zoll	5	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Düsendurchmesser	mm	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
Schneiden große Kontur															
Konturbearbeitung															
Laserleistung	W	1500	1200	1200	2500	2600	4500	5300	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5600
Schneidgeschwindigkeit	m/min	8,2	6,4	5,4	5,2	5	4,7	4,2	3,8	3,1	2,65	2,15	1,75	1,2	0,9
Gasdruck	bar	4,5	4,5	4,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
Anfahren der Kontur															
Schneidgeschwindigkeit	m/min									1,5	1,1	0,9	0,7	0,4	0,2
Schneiden mittlere Kontur															
Konturbearbeitung															
Laserleistung	W								2000	2000	3000	3000	4000	5000	
Schneidgeschwindigkeit	m/min								1,8	1,6	1,5	1,2	1,1	0,8	
Gasdruck	bar								0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	
Anfahren der Kontur															
Schneidgeschwindigkeit	m/min								0,7	0,5	0,5	0,5	0,65	0,3	
Schneiden kleine Kontur															
Konturbearbeitung															
Laserleistung	W	300	300	300	300	300	300	350	450	450	550	650	1200	1000	
Schneidgeschwindigkeit	m/min	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3	0,3	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gasdruck	bar	4,5	4,5	4	4	4	4	2	3	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	

Technologietabellen enthalten Parameter und die zugehörigen Werte, so wie hier für das Laserschneiden von Stahl mit einem CO₂-Laser.

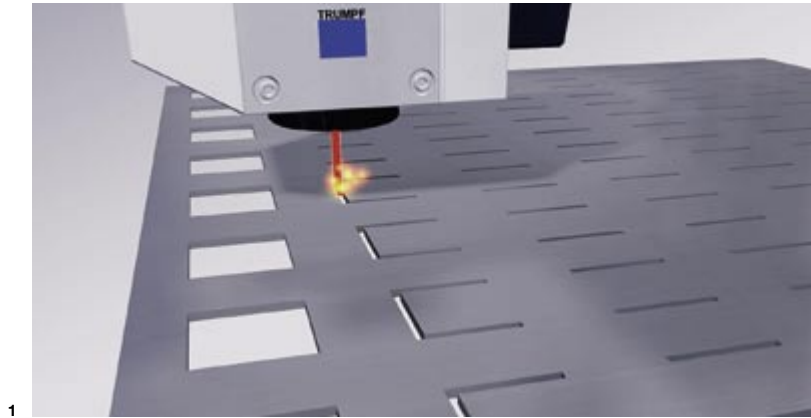
Programmiersysteme | Das NC-Programm zum Fertigungsauftrag erstellt der Programmierer im Programmiersystem am Computer. Teile schachteln, bei Bedarf gemeinsame Trennschnitte erzeugen, wo Kippgefahr besteht, Microjoints oder Mikro-Schweißpunkte setzen – all dies geschieht mit wenigen Mausklicks. Den Weg des Lasers berechnet das System automatisch. Es legt die Bearbeitungsfolge fest, setzt Einstechpunkte an die richtigen Stellen, rundet spitze Ecken ab oder ergänzt kleine Loopings. Dabei setzt es die Strategien um, die der Programmierer ausgewählt hat. In der Simulation sieht der Programmierer, wie die Tafel abgearbeitet wird. Bei dreidimensionalen Teilen und Rohren berechnet das Programmiersystem die komplexen mehrdimensionalen Bewegungen ebenfalls automatisch.

Damit die Schnittqualität stimmt, liefert das NC-Programm der Steuerung die passenden Werte für Bearbeitungsparameter wie Schneidgeschwindigkeit, Laserleistung, Düsenabstand. Diese Werte stehen in den so genannten Technologietabellen. Auf sie greift das System zu.

Technologietabellen | Technologietabellen sind Wissensspeicher: Sie werden für jede Materialart und -dicke angelegt. Sie enthalten prozesssichere Werte für alle Bearbeitungsparameter, wie etwa Laserleistung und Schneidgeschwindigkeit. Dabei werden auch Lasertyp, Konturgröße und Linsenbrennweite berücksichtigt.

Jede Technologietabelle hat eine Nummer und ist in der Maschinensteuerung abgelegt. Sie kann zentral gepflegt und aktualisiert werden und steht für jeden Fertigungsauftrag zur Verfügung. Im NC-Programm stehen keine Parameterwerte mehr, sondern nur noch die Nummer der Technologietabelle, in der die Werte gespeichert sind. Während der Bearbeitung greift die Maschinensteuerung auf diesen Wert zu.

1 So geht's schneller: Anstatt die Quadrate einzeln auszuschneiden, schneidet der Laser die Seiten nacheinander, die in einer Linie liegen.



Den Prozess im Griff | Was im NC-Programm steht, setzt die Steuerung in die Tat um. Sie berechnet die Bewegungen der Maschinenachsen und regelt Laserleistung und Gaszufuhr. Zusätzlich nimmt sie die Messdaten und Signale der Sensoren entgegen, die den Schneidprozess überwachen.

Eine der größten Herausforderungen an die Steuerungstechniker besteht darin, Laserleistung und Schneidgeschwindigkeit immer optimal aufeinander abzustimmen. Wenn beispielsweise der Laserstrahl eine Ecke schneidet, müssen gleichzeitig Schneidgeschwindigkeit und Laserleistung reduziert werden.

Bei einigen Schneidstrategien muss der Laserstrahl innerhalb von winzigen Sekundenbruchteilen ein- und ausgeschaltet werden, während sich der Schneidkopf mit hoher Geschwindigkeit über die Tafel bewegt. Ein Beispiel: Als Lüftungsöffnungen sollen 25 Quadrate mit 10 Millimeter Kantenlänge ins Blech geschnitten werden. Sie sitzen in 5 Reihen mit je 5 Quadraten nebeneinander. Der Laserstrahl könnte nun jedes Quadrat einzeln ausschneiden. Wesentlich schneller geht es aber, wenn er alle Kanten nacheinander schneidet, die in einer Linie liegen.

- 1 Der Laser schneidet Rohre genauso souverän wie Blechtafeln.
- 2 Ein Prospektständer: intelligent gefügt durch Einrasten und Verdrehen

Also erst die Ober- und Unterkanten aller Quadrate und danach alle rechten und linken Seiten. Nur wenn die Anfangs- und Endpunkte der einzelnen Schnitte genau aufeinandertreffen, erhält man am Ende präzise Formen. Hierfür muss die Steuerung den Laserstrahl auf 100 Mikrosekunden (0,0001 Sekunden) genau ein- und ausschalten.

PLUSPUNKTE BEI ROHREN UND PROFILEN

Viele Teile im Stahl- und Apparatebau sowie im Metall- und Maschinenbau werden aus Rohren und Profilen gefertigt und mit dem Laser geschnitten: Stahlmöbel, Maschinenrahmen, Sportgeräte und Geländer – um nur einige zu nennen.

Der Laser erweist sich dabei in mehrfacher Hinsicht als vorteilhaft. Laserschneiden reduziert Arbeitsschritte und verkürzt so den Fertigungsprozess. Der Laser schneidet in einem Arbeitsgang Löcher ebenso wie komplexe Konturen und erledigt das Ablängen. Damit ersetzt das Laserschneiden alle konventionellen Arbeitsschritte – wie Sägen, Anreißen, Bohren, Fräsen und Stanzen.



1

Neue Konstruktionen | Darüber hinaus ermöglicht das Laserschneiden neue Rohrkonstruktionen, die nachfolgende Fertigungsschritte vereinfachen.

Steck- und Rastverbindungen erleichtern Montagearbeiten und können Schweißarbeiten ersetzen. Wo Schweißen weiterhin nötig ist, verkürzen Fügehilfen die Vorbereitungszeiten. Mit Microjoints lassen sich Rohre auch von Hand biegen. Das sind nur einige Beispiele dafür, welche Möglichkeiten das Laserschneiden in der Rohrbearbeitung eröffnet.

Viele Konstrukteure kennen diese Möglichkeiten noch nicht. Seminare für laseroptimiertes Konstruieren bieten die Grundlagen, um Laser-Rohrbearbeitung effektiv einzusetzen.

Technische Herausforderungen | Für denjenigen, der mit der Laserschneidmaschine Rohre bearbeitet, ist der Prozess fast so leicht zu handhaben wie für denjenigen, der flache Tafeln schneidet. Dahinter stecken geballtes Technologiewissen und ausgeklügelte Bearbeitungsstrategien. Die nächsten Absätze zeigen einige Aspekte dazu.



2

Tatort James-Bond-Film Der Bösewicht droht, mit einem Superlaser in einem Satelliten in der Erdumlaufbahn ganze Städte zu vernichten. Realistisch? Nein! Satelliten kreisen in mehr als 1000 Kilometer Höhe um die Erde. Diese Strecke müsste der Laserstrahl überwinden, ohne sich

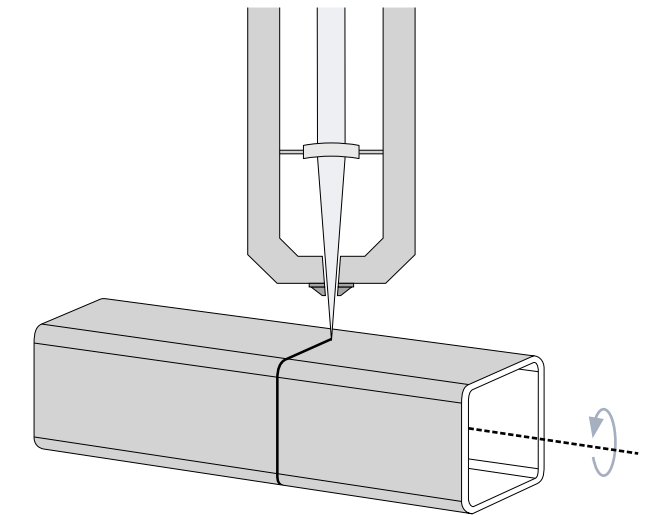
Maße ausgleichen | Rohre und Profile haben mehr Geometriefehler als Blechtafeln: Sie können leicht gebogen oder verwunden sein, Dicke und Durchmesser können schwanken. Damit die Konturen des fertigen Teils genau sind und die Qualität stimmt, leistet die Maschine Ausgleichsarbeit. Der Schneidkopf hat durch die Abstandsregelung immer den gleichen Arbeitsabstand. Messzyklen und Spannvorrichtungen in der Maschine sorgen dafür, dass die Position stimmt.

Über die Ecke | Wenn der Schnitt bei Rechteckprofilen über die Ecke führt, wird die Steuerung gleich mehrfach gefordert: Der Schneidkopf muss einen konstanten Abstand zum Werkstück halten und wandert deshalb mit nach oben und wieder nach unten, während das Profil gedreht wird. Zudem kann das Werkstück an der Ecke dicker sein. Um zu verhindern, dass der Schnitt abreißt, wird in solchen Fällen die Laserleistung erhöht und die Schneidgeschwindigkeit verringert. Unter Umständen muss auch der Gasdruck verändert werden, da das Schneidgas an der Ecke abgelenkt wird und nicht mehr vollständig in den Schnitt strömt.

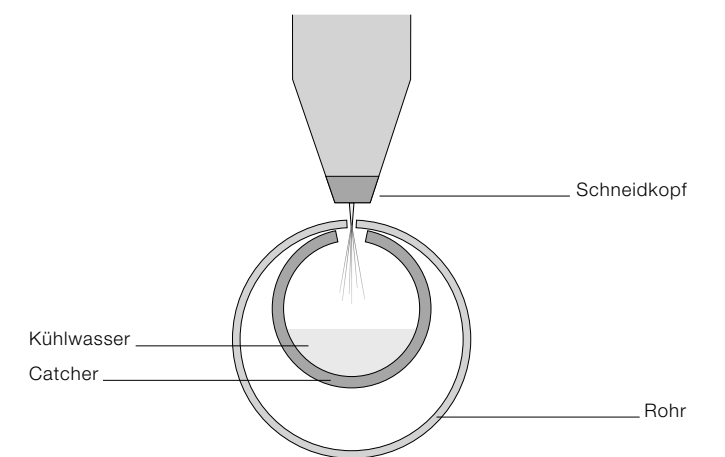
Die andere Seite | Während des Schneidens tritt der Reststrahl zusammen mit Metallschmelze und -schlacke mit hoher Geschwindigkeit am unteren Ende des Schnittspaltes aus. Spritzer können die gegenüberliegende Seite verschmutzen oder beschädigen. Mit den optimalen Parametereinstellungen lassen sich Spritzer weitgehend vermeiden, und die andere Seite bleibt meist unversehrt. Dabei helfen die Technologie-Tabellen, die Maschinenhersteller mit der Maschine liefern.

Bei Sonderanwendungen – zum Beispiel dem Ablängen von Rundrohren – wird ein Catcher (Fänger) in das Rohr eingeführt. Er fängt Reststrahl, Schlacke und Schmelze auf. Häufig ist in ihm auch die Absaugung integriert.

aufzuweiten. Er bräuchte einen Fokusdurchmesser von vielen Metern und riesige Energiedichten. Satelliten verfügen weder über die Energiemenge, um einen solchen Strahl zu erzeugen, noch sind sie groß genug für die Fokussieroptik.



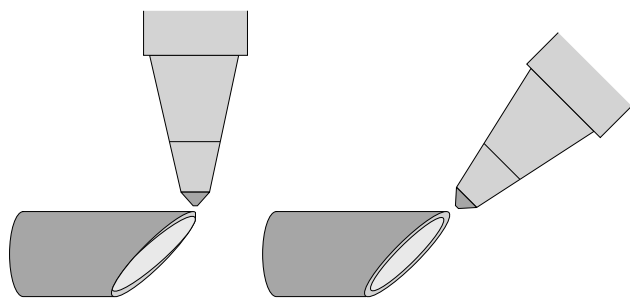
Wenn die Ecke kommt, weicht der Schneidkopf nach oben aus.



Der Catcher fängt den Reststrahl und Spritzer auf.

Der Schinkenwurstschnitt | Wer schon einmal in der Auslage einer Metzgerei gesehen hat, wie Würste schräg angeschnitten werden, weiß, dass sie eine ebene Schnittfläche haben, die schräg zur Länge verläuft. In der Rohrbearbeitung kennt man den Schinkenwurstschnitt ebenfalls: Rohre werden oft schräg getrennt und anschließend mit einer Fläche oder mit anderen Rohren verschweißt. Dies funktioniert gut, wenn die Kanten flächig aufeinander treffen. Doch wie lässt sich dieser Schnitt fertigen?

In der 2D-Rohrbearbeitung schneidet der Laserstrahl senkrecht zur Rohroberfläche. Die Schnittflächen der Kante sind in sich verwunden – für die meisten Anwendungen genügt dies jedoch. Den echten Schinkenwurstschnitt schneidet ein 3D-Schneidkopf, der schräg zur Oberfläche stehen kann. Damit lassen sich Schrägen von bis zu 45 Grad in Stahl und etwa 15 Grad in Aluminium fertigen.



Links: Der 2D-Schneidkopf erzeugt verwundene Schnittflächen.
Rechts: Der 3D-Schneidkopf ermöglicht ebene Schnittflächen.

Verhaktes trennen | Beim Rohrschneiden fällt das fertige Teil normalerweise nach unten weg, sobald die Kontur geschnitten ist. Manchmal greifen die Konturen von Teil und Restrohr allerdings so ineinander, dass sie sich verhaken. Dann bleibt das Teil am Restrohr hängen. Dies ist zum Beispiel beim Bajonettverschluss der Fall. Hier sind zusätzliche Trennschnitte nötig, die das Teil vom Restrohr freischneiden. Die Trennschnitte werden vom Programmiersystem automatisch ergänzt.

Bei einigen Teilen ist Verhaken jedoch erwünscht: Kabelführungen, Ketten oder dekorative Serviettenringe nutzen genau den Effekt, dass sich einzelne Elemente ineinander verhakt zwar bewegen, sich aber nicht trennen lassen.



1

„Immer mehr Unternehmen erkennen die Möglichkeiten, die das Laserschneiden von Rohren bietet: innovative Konstruktionen, weniger Fertigungsschritte und damit auch geringere Herstellkosten. Deshalb steigt die Nachfrage nach Rohrschneidanlagen kontinuierlich. Laserschneiden von Rohren liegt eindeutig im Trend.“
Norbert Beier, Vertrieb Rohrschneidanlagen

UNMÖGLICHES ERLEDIGEN WIR MIT DEM LASER

„Zunächst dachten wir, unsere Rohrschneidanlage kann die Radgabel gar nicht fertigen“, erzählt Jörg Pielemeier, Gruppensprecher der Gruppe Rohr-Laserschneiden bei der Meyra GmbH + Co. KG in Kalletal-Kalldorf. Kurz darauf zeigt er: Es geht doch. Radgabeln sind die Bauteile, die die zwei kleinen, beweglichen Räder der Rollstühle halten, die Meyra herstellt. Früher waren es Zukaufteile, heute fertigt Meyra sie selbst. Auf einer Rohrschneidanlage mit einem 2,4-Kilowatt-Laser.

„Laserschneiden sichert uns einen Wettbewerbsvorteil“, sagt Jörg Pielemeier. Aber um das Teil tatsächlich mit dem Laser schneiden zu können, bedarf es großer Erfahrung und einiger Tricks. Die erste Herausforderung: Das Aluminiumprofil, aus dem die Radgabel geschnitten wird, ist offen.



Diese Radgabel hält das bewegliche Rad am Rollstuhl.

Damit es nicht zusammengedrückt wird, entwickelte Meyra Spannbacken, die es nur von zwei Seiten halten. Darüber hinaus galt es, weitere Anforderungen zu lösen: Die Dicke des Profils variiert fließend zwischen 4 und 8 Millimetern. „Laser ohne Fokusweitenregelung können das eigentlich nicht ausgleichen“, erläutert Pielemeier. Hinzu kommt: Mit einem 2,4-Kilowatt-Laser lässt sich Aluminium normalerweise nur bis zu einer Dicke von 4 Millimetern schneiden.

Dank eines Schneidkopfes mit langer Brennweite geht es aber doch. „Das fand unser Team nach einigen Tests und in enger Abstimmung mit dem Maschinenhersteller heraus“, erinnert sich Pielemeier. Die lange Brennweite sorgt für eine hohe Tiefenschärfe und einen größeren Fokusdurchmesser, der eine breitere Schnittfuge erzeugt. Mit den passenden Schneidgeschwindigkeiten von 0,3 Metern pro Minute an den Ecken und bis 2,7 Metern pro Minute an geraden Flächen stellt die Schneidanlage nun die Radgabeln her.

Früher wurde in drei Schritten bearbeitet, mit Sägen, Bohren und Fräsen. Heute erledigt die Schneidanlage alles in einem Arbeitsgang. „Die Fertigungszeit inklusive Rüst- und Durchlaufzeiten hat sich so um rund 40 Prozent verkürzt“, so Pielemeier. Deshalb lohnt es sich für Meyra auch wieder, das Teil selbst zu fertigen. Das reduziert die Lagerkosten, weil die Radgabel just in time gefertigt wird. Pielemeier nennt weitere positive Nebenwirkungen: „Durch das Laserschneiden sind wir in der Gestaltung freier. Prototypen können wir schnell fertigen, direkt aus den Konstruktionsdaten.“ Und eines macht die ganze Gruppe besonders stolz: „Ich bin sicher, unsere Radgabel gehört weltweit zu den anspruchsvollsten Teilen, die mit dieser Rohrschneidanlage gefertigt werden.“

Der Laserstrahl braucht die Maschine

Rasante Entwicklung Typische CO₂-Laser für die Blechbearbeitung hatten Ende der 1970er Jahre eine Leistung von 500 Watt. Damit konnten sie maximal 6 Millimeter Baustahl schneiden und erreichten in dünnen Blechen maximale Schneidgeschwindigkeiten von 0,5 Metern pro Minute. Mittlerweile erreichen CO₂-Laser mit 6 Kilowatt siebenmal so hohe Geschwindigkeiten und trennen auch noch über 30 Millimeter dicke Bleche. Auch für die nächsten Jahre lautet das Motto: stärker, dicker, schneller.

WELCHE MASCHINE FÜR WELCHES WERKSTÜCK?

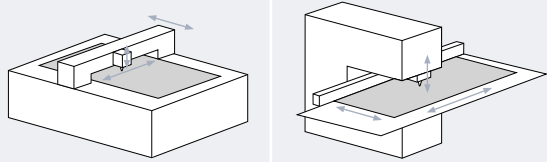
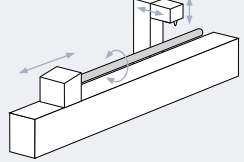
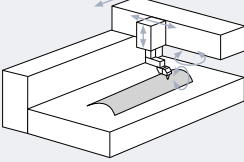
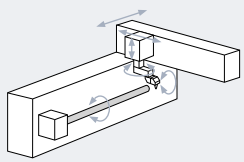
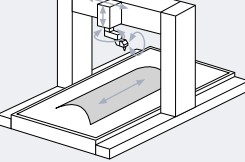
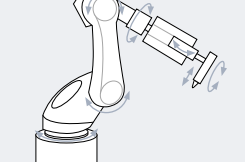
Der Laserstrahl an sich schneidet flache Blechtafeln genauso leicht wie dreidimensionale Werkstücke. In der Praxis kann er das nur, wenn die Optik, die ihn bündelt, und die Maschine, die ihn führt, alle dazu nötigen Bewegungen erlauben. Die Ausführung der Lasermaschine bestimmt das Werkstückspektrum, das geschnitten werden kann.

In der industriellen Laserbearbeitung hängt also die Frage, welches die richtige Lasermaschine ist, davon ab, was bearbeitet werden soll. Meist sind das:

- flache Blechtafeln
- vorgeformte, dreidimensionale Werkstücke
- Rohre und Profile

In Bewegung | Um eine Kontur schneiden zu können, müssen sich Laserstrahl und Werkstück relativ zueinander bewegen. Während der Bearbeitung werden dazu entweder der Schneidkopf oder das Werkstück oder beide bewegt. Die Bewegung kann jeweils in einer oder mehreren Achsen erfolgen, je nachdem, ob ein flaches oder ein dreidimensionales Werkstück bearbeitet wird. Konturen in der Ebene werden mit 2D-Lasermaschinen geschnitten, dreidimensionale Konturen benötigen die Beweglichkeit einer 3D-Lasermaschine. 1D-Maschinen werden nur für wenige Spezialfälle verwendet, in denen ausschließlich gerade Schnitte benötigt werden – zum Beispiel wenn mit einer Maschine nur Rohre auf die richtige Länge geschnitten werden. Neben den Laserschneidanlagen setzen sich auch Roboter immer stärker durch.

Flache Tafeln | Am häufigsten werden Laser eingesetzt, um Teile aus ebenen Blechtafeln zu schneiden. Bei diesen zweidimensionalen Teilen genügt eine Bewegung in der Ebene, um alle Punkte auf der Blechtafel anzufahren.

	2D-Lasermaschinen		3D-Lasermaschinen				Roboter
Typ	Fliegende Optik: bewegter Querträger	Feststehender Schneidkopf im C-Rahmen	Auslegermaschine mit Rundachse	Auslegermaschine	Auslegermaschine mit Rundachse	Maschine in Portalbauweise	Knickarmroboter, frei im Raum beweglich
Anwendung	Typische Flachbettmaschine für die Bearbeitung von Blechtafeln. Geeignet auch für sehr schwere Werkstücke.	Lasermaschinen oder Stanz-Laser-Kombimaschinen. Werkstück ist bewegt. Gewicht und Blechdicke sind dadurch begrenzt.	Lasermaschine für die 2D-Rohrbearbeitung. Der Laserstrahl schneidet nur senkrecht zum Werkstück.	Lasermaschine für die Bearbeitung von dreidimensionalen Werkstücken, zum Beispiel tiefgezogene Teile.	Lasermaschine für die 3D-Rohrbearbeitung. Der Laserstrahl kann auch schräg zum Werkstück schneiden.	Lasermaschine für die Bearbeitung von sehr großen dreidimensionalen Werkstücken.	Schneiden von dreidimensionalen Konturen in automatisierten Fertigungsstraßen.
Bewegung	Optik: 3 Achsen	Werkstück: 2 Achsen Optik: 1 Achse	Werkstück: 2 Achsen Optik: 2 Achsen	Optik: 5 Achsen	Werkstück: 1 Achse Optik: 5 Achsen	Werkstück: 1 Achse Optik: 4 Achsen	Roboterarm: 6 Achsen Optik: 1 autonome Achse
Grafik							

Gängige Maschinenkonzepte für die 2D- und 3D-Bearbeitung

Dazu kann entweder das Werkstück bewegt werden, während der Schneidkopf feststeht – ähnlich einer Stanzmaschine. Wesentlich verbreiteter sind jedoch Flachbett-Laserschneidanlagen mit fliegender Optik, bei denen sich der Schneidkopf über das Werkstück bewegt.

3D-Teile | Wenn der Laser Konturen in tiefgezogene Werkstücke schneidet, muss die Optik sehr flexibel sein. 3D-Lasermaschinen haben oft eine Optik mit fünf Bewegungsachsen. Die drei Raumachsen werden ergänzt durch eine Dreh- und eine Schwenkachse. In Sonderfällen kann das Werkstück zusätzlich bewegt werden. Roboter sind eine günstige Alternative, um dreidimensionale Konturen zu schneiden.

Rohre und Profile | Rohre und Profile sind ebenfalls dreidimensionale Werkstücke, die häufig mit dem Laser geschnitten werden. Je nach Anforderung an die Konturen werden dazu 2D- oder 3D-Lasermaschinen eingesetzt. Neben der Schneidoptik wird hier immer auch das Werkstück bewegt.



EINE LASERSCHNEIDANLAGE IM DETAIL

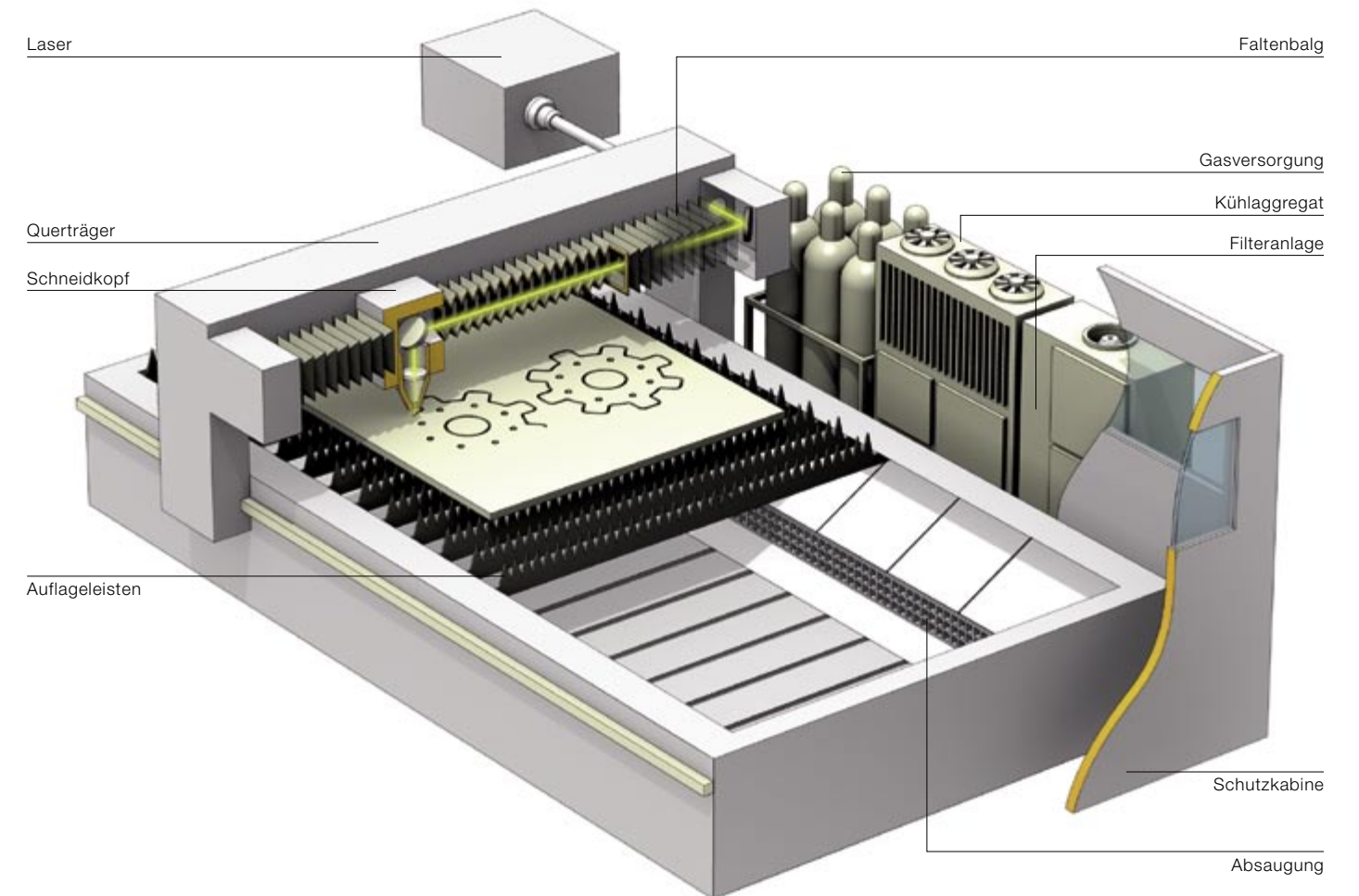
Wegen der verschiedenen Maschinentypen und Laseraggregate können Laserschneidanlagen sehr unterschiedlich aussehen. Sie bestehen jedoch grundsätzlich aus den gleichen Komponenten:

- Grundmaschine mit Antrieben, die alle Komponenten und das Werkstück trägt und bewegt
- Laseraggregat, das den passenden Laserstrahl mit der richtigen Wellenlänge und genügend Leistung liefert
- Strahlführung, die den Strahl lenkt, formt und abschirmt
- Schneidkopf, der den Laserstrahl fokussiert und in dem das Schneidgas zugeführt wird
- Werkstückauflage oder -aufnahme, die das Werkstück trägt
- Absaug- und Filteranlage, die Schneidrauch und Schlackepartikel auffangen
- Schutzkabine, die den Bediener vor reflektierter Strahlung und Metallspritzern schützt

Das Maschinenkonzept, das man in der Blechfertigung am häufigsten antrifft, ist die Flachbett-Laserschneidanlage, die mit einem CO₂-Laser arbeitet. Grund genug, sich dieses Konzept näher anzuschauen.

Strahlführung | Der Laserstrahl ist ein hochwertiger Lichtstrahl, der präzise geführt werden muss, damit er seine Qualität beibehält. Damit keine Partikel den Lichtstrahl streuen können, ist der Strahlweg vollständig gekapselt: Der Laserstrahl läuft innerhalb von Faltenbälgen oder Rohren über verschiedene Spiegel, die ihn umlenken und formen.

Faltenbalg Wo sich Weglängen verändern, kann der Laserstrahl nicht in starren Rohren geführt werden, zum Beispiel auf dem Weg zum beweglichen Schneidkopf. Dort läuft der Laserstrahl in Faltenbälgen. Ein Faltenbalg ist eine Hülle mit veränderlichem Volumen – wie der Blasebalg einer Ziehharmonika. Er zieht sich durch die Bewegung des Querträgers und des Schneidkopfes auseinander und wieder zusammen.



Die wesentlichen Bestandteile der Flachbett-Laserschneidanlage im Überblick

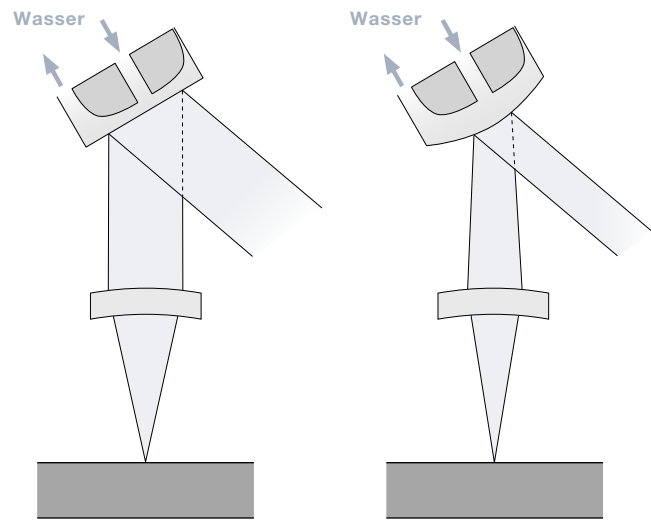
In der Flachbett-Laserschneidanlage legt er vom Laseraggregat bis zum Schneidkopf mehrere Meter zurück und wird am Ende auf wenige Zehntelmillimeter im Durchmesser gebündelt. Fokusslage und Fokussdurchmesser sollen dabei über den

gesamten Arbeitsbereich konstant bleiben. Liefern die Lichtwellen im Laserstrahl exakt parallel, gäbe es damit keine Probleme. In Wirklichkeit weitet sich der Strahl aber mit zunehmender Strahllänge auf. Durch diese Divergenz verändern

Linearantrieb Schnell und präzise muss der Schneidkopf am Querträger hin- und herflitzen, damit er die Kontur schneiden kann. Dazu nutzt er das gleiche Prinzip wie die Magnetschwebbahn Transrapid: den Linearantrieb.

sich Fokusslage und -durchmesser, wenn sich die Länge des Strahlweges verändert. Um die Divergenz auszugleichen, gibt es zwei Möglichkeiten.

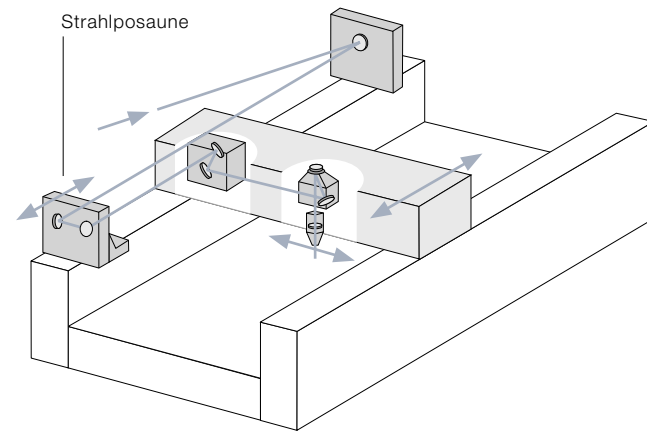
Die eine besteht darin, einen adaptiven Spiegel in die Strahlführung einzusetzen, dessen Krümmung sich programmgesteuert verändern und anpassen (adaptieren) lässt. Wenn der Spiegel nach außen gewölbt ist, vergrößert er die Divergenz des Laserstrahls. Mit dieser Fähigkeit kann der adaptive Spiegel zwei Aufgaben erfüllen. Er kann zum einen die Fokusslage über den gesamten Arbeitsbereich hinweg konstant halten. Zum anderen kann er die Fokusslage auch gezielt verändern und an verschiedene



Wasserdruck wölbt den adaptiven Spiegel nach außen, um die Fokusslage konstant zu halten oder sie an verschiedene Materialdicken anzupassen.

Materialdicken anpassen. Wenn eine andere Fokusslage benötigt wird, muss die Linse im Schneidkopf nicht manuell verschoben werden.

Einen anderen Weg zu konstanter Fokusslage und zu einem konstanten Fokussdurchmesser bietet die so genannte Strahlposaune. Sie sorgt dafür, dass der Strahlweg immer gleich lang bleibt – egal, welche Bewegung die Optik ausführt. Die Strahlposaune besteht aus einem beweglichen Schlitten, auf dem sich zwei Umlenkspiegel befinden. Wenn sich der Querträger und der Schneidkopf bewegen, gleicht die Strahlposaune den Wegunterschied aus, indem sie sich in die gleiche Richtung bewegt.



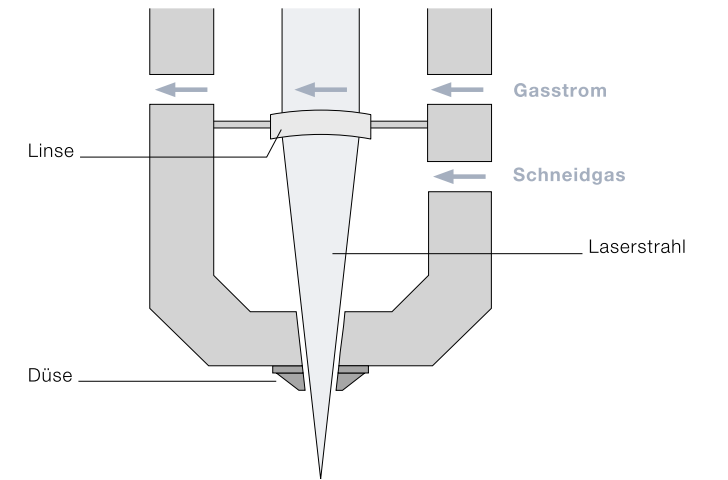
Der Strahlweg in einer Flachbett-Laserschneidanlage. Vorne links befindet sich die Strahlposaune, die Strahlweg und Fokusslage konstant hält.

Schneidkopf | Der Schneidkopf macht den Laserstrahl zum Schneidwerkzeug: Linsen oder Spiegel fokussieren den Laserstrahl. Über die Schneiddüse tritt der Strahl zusammen mit dem Schneidgas aus dem Schneidkopf. Der Abstand zum Werkstück beträgt dann 0,7 bis 1,2 Millimeter.

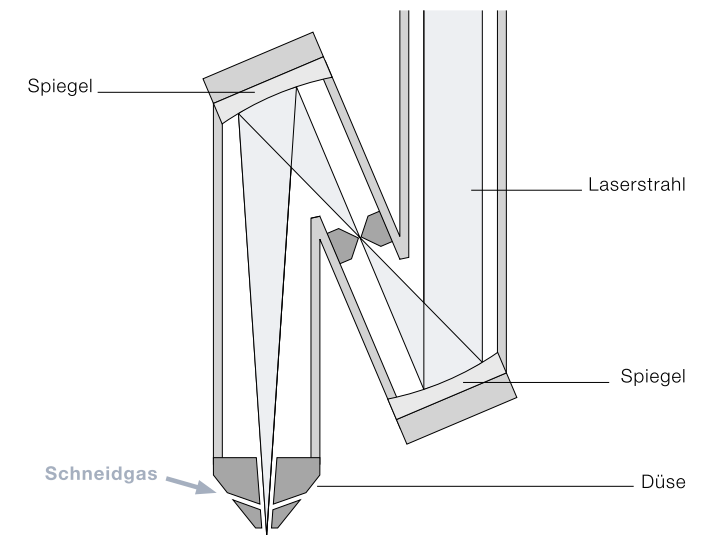
Wegen seiner Wellenlänge wird CO_2 -Laserlicht vollständig von Glas absorbiert. Deshalb bestehen die Linsen im Schneidkopf aus Zink-Selenid. Sie werden inzwischen bei Laserleistungen von bis zu 6000 Watt und mehr eingesetzt. Dabei muss sichergestellt sein, dass die Linse absolut sauber bleibt. Denn Schmutzpartikel auf der Oberfläche absorbieren das Laserlicht und wandeln es in Wärme um. Bei hohen Laserleistungen kann sich die Linse dabei so stark erhitzen, dass sie verbrennt und die Strahlführung beschädigt. Ein Gasstrom, der fächerförmig über die Linse bläst, sorgt dafür, dass sich keine Schmutzpartikel festsetzen können. Zusätzlich überwacht ein Sensor die Linse.

Spiegelschneidköpfe öffnen die Leistungsskala nach oben. Hier wird der Laserstrahl von zwei Hohlspiegeln fokussiert. Beide Spiegel sind von innen gekühlt und halten deshalb größere Wärmemengen aus als Linsen. Das Schneidgas wird über eine Ringspaldüse zugeführt. Die Ringspaldüse umgibt den Laserstrahl konzentrisch.

Auflageleisten als Werkstückauflage | Die Werkstückauflage trägt die Blechtafel, während sie bearbeitet wird. Sie darf das Werkstück jedoch nur punktförmig abstützen, damit der Laserstrahl nicht von unten reflektiert wird oder beim Schneiden das Teil mit der Auflage verschweißt. Deshalb besteht die Werkstückauflage aus einem Metallrahmen, in den Auflageleisten gehängt werden. Die Ränder der Auflageleisten sind gezackt, die Spitzen ragen nach oben. Die Blechtafel liegt darauf wie der Fakir auf seinem Nagelbrett.



Der Linsenschneidkopf: Standard in der Laserschneidanlage



Der Spiegelschneidkopf für hohe Laserleistungen

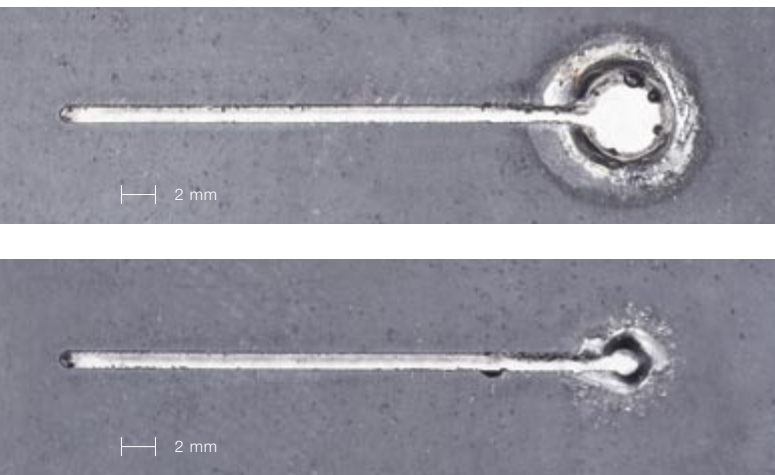
„Laserschneiden entwickelt sich immer noch rasch weiter. Kunden zeigen mir oft Teile und fragen, ob oder ab wann der Laser sie schneiden kann. Vor einigen Jahren antwortete ich oft, ich könne mir nicht vorstellen, dass das überhaupt irgendwann funktionieren könnte. Mittlerweile ist sehr viel davon Wirklichkeit geworden. Deshalb sage ich nur noch, ich wisse, es sei heute nicht möglich. Doch schon morgen könne das anders aussehen.“ *Peter Dittrich, Vorfürzentrum*

Auflageleisten sind Verschleißteile. Aber: Man muss sie nicht kaufen, sondern kann sie selbst aus Stahlblechen mit dem Laser schneiden. Das NC-Programm dazu ist meist bereits in der Maschine hinterlegt.

Absaugung und Filterung | Schneidrauch und Schlackepartikel werden abgesaugt und gefiltert, sobald sie aus dem Schnittspalt austreten. Dies übernimmt die Absauganlage unter der Werkstückauflage. Größere Partikel und kleine Teile fallen nach unten. Sie landen auf einem Längsförderband, das sie aus dem Arbeitsbereich der Maschine transportiert.

Für die Effizienz der Absaugung und der Filterung gelten gesetzliche Vorschriften. Sie bestimmen Grenzwerte für die Partikelmenge, die die gefilterte Luft enthalten darf.

Schutzkabine und Sicherheit | Laserschneiden ist ein sehr sicheres Fertigungsverfahren: Der Bearbeitungsprozess ist vom Bediener vollständig getrennt, so dass er weder mit



Laserstrahlung noch mit Partikeln oder Gasen, die beim Bearbeiten entstehen, in Berührung kommt. Eine Schutzkabine umgibt den Arbeitsbereich vollständig und schirmt den Bediener vor der Laserstrahlung ab. Die Kabine besteht aus Stahlblechen, in die große Kunststoffscheiben aus Polycarbonat eingelassen sind. Durch die Scheiben lässt sich der Schneidprozess gefahrlos beobachten.

SENSOREN – DIE HÜTER DES PROZESSES

Sensoren überwachen die wichtigsten Vorgänge beim Laserschneiden. Sie greifen ein, um Vorgänge zu optimieren oder kritische Situationen zu vermeiden. Diese Helfer werden oft wenig beachtet. Für die Schnittqualität und die störungsfreie Bearbeitung sind sie jedoch unersetzlich.

Einstecken mit Gefühl | Einstecken hieß früher: den Laserstrahl mit hoher Leistung und hohem Gasdruck so lange auf eine Stelle richten, bis das Material sicher durchstoßen ist. Dabei bildeten sich bei dickem Material im Ausschussteil regelrechte Krater, die ein ganzes Stück von der Kontur entfernt liegen mussten.

Um die Maschine zu schonen und Material zu sparen, sticht man nun mit geregelter Laserleistung im Pulsbetrieb ein. Die Laserleistung wird dabei kontinuierlich erhöht. Zusätzlich regelt und überwacht ein Sensor das Einstecken. Er beendet es, sobald der Laser durch das Material gedrungen ist. Dazu wertet er das Licht aus, das von der Einstichstelle abgestrahlt wird. Dieses Licht nimmt mit zunehmender Tiefe ab. Es geht gegen null, wenn der Laser durch das Material tritt.

Das kontrollierte Einstecken im Pulsbetrieb liefert kleinere Startlöcher mit weniger Spritzern. Deshalb können die Startlöcher näher an der Kontur liegen. Eine wichtige Voraussetzung, um feine Konturen in dicken Blechen zu schneiden.

Für konstanten Abstand | Der Schneidabstand zwischen Düse und Werkstück muss exakt stimmen, damit der Fokus richtig liegt und das Schneidgas optimal in den Schnittspalt strömen kann. Schon Abweichungen von wenigen Zehntelmillimetern beeinflussen das Schneidergebnis merklich. Aus diesem Grund wird auch der Abstand durch einen Sensor überwacht und kontinuierlich geregelt.

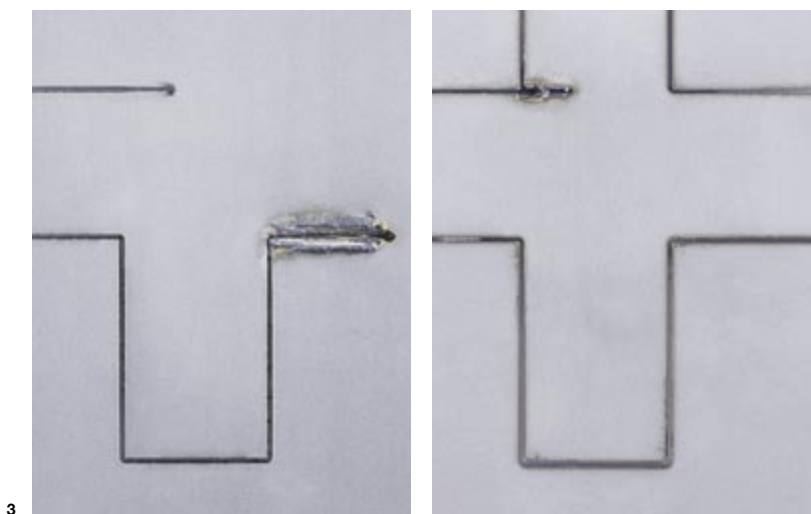
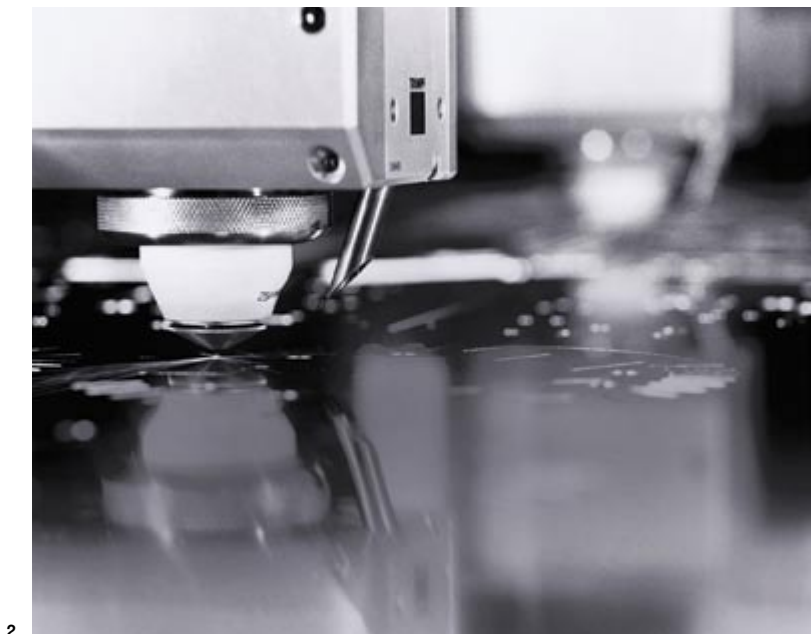
Der Sensor misst die elektrische Kapazität zwischen Blech und Düse. Da sich die Kapazität verändert, wenn der Spalt zwischen Blech und Düse größer oder kleiner wird, kann der Sensor daraus den Abstand ermitteln. Wenn der Abstand nicht mit dem programmierten Wert übereinstimmt, bringt die Steuerung den Schneidkopf wieder auf die richtige Höhe.

Immer ganz durch | Wenn Laserleistung und Schneidgeschwindigkeit nicht ganz genau zueinander passen, kann sich eine Plasmawolke zwischen Düse und Werkstück bilden. Dies geschieht besonders häufig beim Schneiden von scharfen Ecken in dicken Blechen.

Das Plasma besteht aus ionisiertem Schneidgas und Metaldampf und stört den Prozess empfindlich: Es absorbiert Laserleistung und weitet den Strahl auf. Der Strahl dringt nicht mehr auf die gleiche Art ins Blech ein. Material lagert sich oben an der Kante an, der Schnitt kann abreißen, das Teil wird damit unbrauchbar.

Der Plasmasensor erkennt das Plasma an den geänderten elektrischen Eigenschaften zwischen Werkstück und Düse. Er greift ein, sobald sich zu viel Plasma bildet. Die Steuerung reduziert dann zunächst die Schneidgeschwindigkeit. Wenn das nicht genügt, hält der Schneidkopf für einen Moment an. In beiden Fällen wird der Schnittspalt wieder frei, die Plasmawolke verschwindet und der Schneidprozess kann fortgesetzt werden.

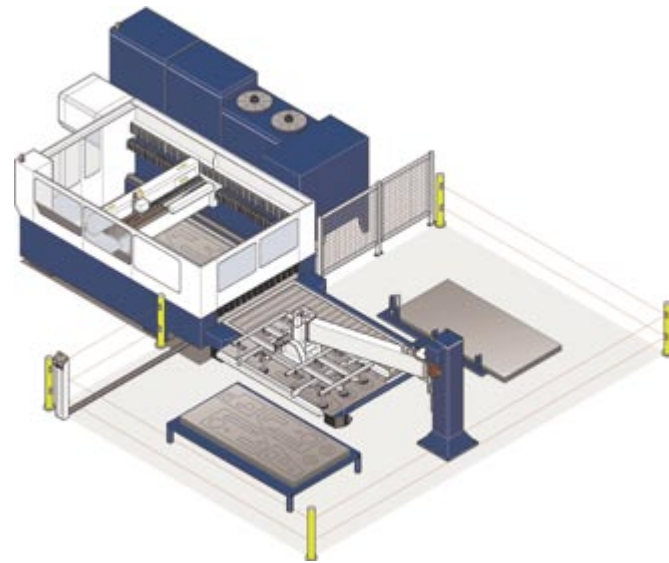
- 1 Einstecken mit voller Leistung (oben) und mit geregelter Leistung (unten) in 12 Millimeter dicken Baustahl
- 2 Ein Sensor hält den Abstand zwischen Düse und Blechtafel konstant.
- 3 Wenn sich Plasma bildet, kann der Schnitt abreißen (links). Die Plasmasensoren verhindern dies (rechts).



VON DER JOB-LISTE ZUM TEILESTAPEL

Wer Automatisierung hört, denkt oft unwillkürlich an lange Fertigungsstraßen, zum Beispiel die Transferstraßen aus der Automobilindustrie. Darin arbeiten zwar auch einige Laserschneidroboter. Dieses Automatisierungskonzept greift jedoch nur in der Massenfertigung und bei spezialisierten Anwendungen. Transferstraßen sind aufwendig einzurichten und an jeder Station nur auf einen Fertigungsschritt ausgerichtet.

In der Halle eines Blechfertigers sieht Automatisierung anders aus. Hier geht es darum, dass die Maschine autonom, ohne menschliches Eingreifen, arbeitet. Sie soll beispielsweise mehrere verschiedene Aufträge hintereinander abarbeiten – und



Tafelautomatisierung: Teile und Restgitter werden gemeinsam entladen.

das über Stunden hinweg. Dazu wird die Maschine mit Automatisierungskomponenten ergänzt. Die Automatisierungskomponenten übernehmen das Beladen, Entladen und Sortieren. Um die Fertigungskapazität zu erhöhen, sind die Maschinen häufig an ein Lager angebunden. Man spricht dann von autonomen Fertigungszellen. Laserschneidanlagen werden mit zwei Strategien automatisiert: mit Tafelautomatisierung und Einzelteilautomatisierung.

Tafelautomatisierung | Tafelautomatisierung heißt: Die Tafel kommt in die Maschine, wird bearbeitet und kommt als Ganzes wieder heraus. Microjoints oder Mikro-Schweißpunkte halten die fertigen Teile bei Bedarf im Restgitter, damit sie nicht kippen können. Wenn die Tafel fertig bearbeitet ist, fährt die Palette aus der Maschine. Die Entladeeinheit bewegt sich über die Palette, und Rechen fahren zwischen die Auflageleisten. Die Rechen heben Restgitter und Teile gleichzeitig an und legen sie auf einem Stapel ab. Die Teile werden anschließend manuell aus dem Restgitter gelöst und entnommen.

Mit den entsprechenden Automatisierungskomponenten lassen sich so Bleche mit einer Dicke von bis zu 30 Millimetern und einem Gewicht von bis zu 1,5 Tonnen bearbeiten.

Einzelteilautomatisierung | Auf der einen Seite der Stapel mit unbearbeiteten Blechtafeln, auf der anderen die fertigen Teile, einzeln abgelegt – das leistet die Einzelteilautomatisierung. Dazu werden die Teile ganz aus der Tafel getrennt. Sobald die Palette aus der Maschine gefahren ist, beginnt die Sortiereinrichtung mit der Arbeit: Mit einem Saugerfeld aus über hundert kleinen Saugern greift sie einzelne Teile und legt diese sortiert auf Paletten oder in Kisten ab.

Die Einzelteilautomatisierung ist jedoch noch mit einigen Einschränkungen verbunden: Die Blechdicke ist auf maximal

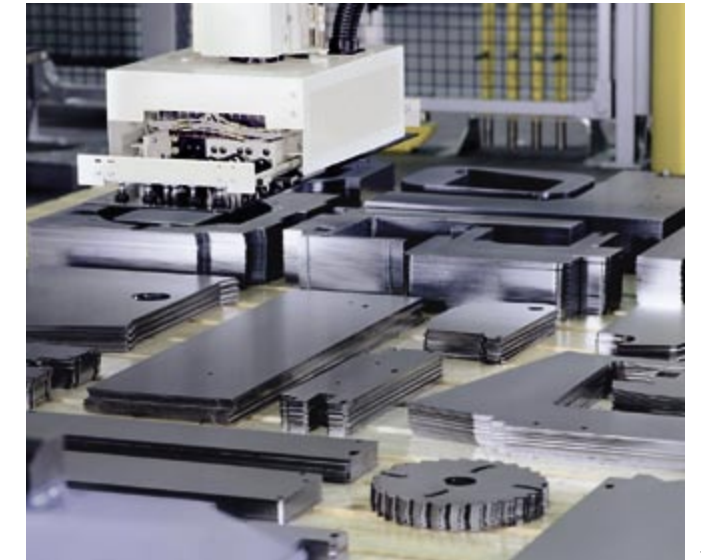
- 1 Einzelteilautomatisierung: Die Teile werden sortiert gestapelt.
- 2 Der Schneidkopf bekommt eine andere Düse.

6 Millimeter beschränkt. Auch für die Abmessungen der Teile gelten Grenzwerte. Wenn Teile sehr verschachtelt liegen, sind sie für die Sortiereinheit schwer greifbar. Teile, die mit den Auflageleisten verspannt oder verkantet sind, lassen sich nicht entnehmen. Ein Sensor erkennt dies, die Sortiereinheit setzt dann ihre Arbeit am nächsten Teil fort. Die verschweißten Teile werden zusammen mit dem Restgitter entnommen. Wenn Teile gekippt sind, kann sie der Greifer nicht mehr richtig ansaugen. Bei dicken Blechen können Teile wegen des kleinen Schnittspaltes beim Herausheben verkanten.

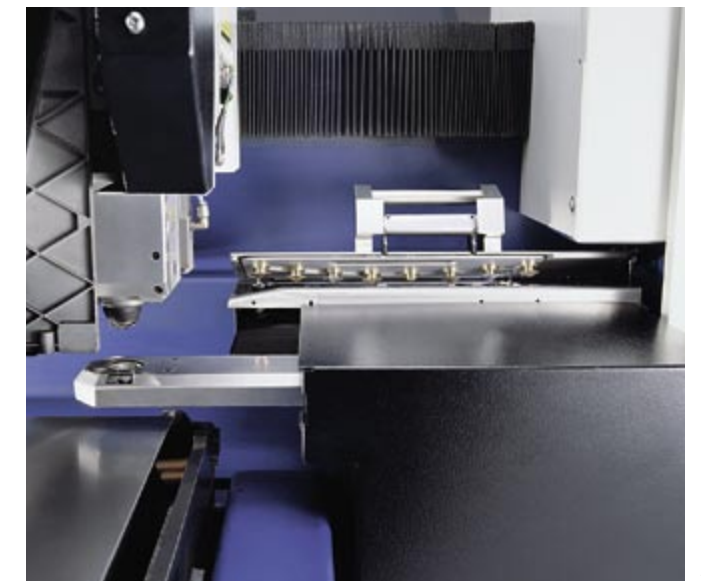
DIE NÄCHSTE DÜSE BITTE!

Eines der Hauptargumente für das Laserschneiden lautet: Alles lässt sich mit einem Werkzeug erledigen. Das stimmt insofern, als der Laserstrahl für alle Materialdicken und -arten der gleiche bleibt. Schneidparameter wie Gasdruck und -strömung können jedoch variieren. Die Düse auf dem Schneidkopf kann automatisch gewechselt werden, um immer für eine optimale Gasströmung zu sorgen. Der zweite Grund für einen Düsenwechsel: Düsen sind Verschleißteile. Bei einigen Schneidmethoden können sich Spritzer an ihr festsetzen. Sind es zu viele, stoppt der Bearbeitungsprozess. Der Bediener kann daher bestimmen, wann die Düse ausgewechselt werden soll, zum Beispiel nach einem bestimmten Zeitintervall.

Düse wechsel dich | Beim automatischen Düsenwechsel schraubt ein Düsenwechsler die alte Düse heraus, greift anschließend die neue aus dem Magazin und schraubt diese wieder auf den Schneidkopf. Eine typische Anwendung: Auf der Palette liegen mehrere kleine Blechtafeln mit unterschiedlicher Dicke, aus denen jeweils einige Teile geschnitten werden sollen. Der Schneidkopf kann für alle Blechdicken gleich bleiben. Die Düse muss jedoch gewechselt werden.



1



2

Die Geschichte des Lasers hat erst begonnen

Wohin die Entwicklung der Lasertechnik uns in 20 Jahren führt, ist momentan nicht abzusehen. Die Experten der Maschinenhersteller sprechen von einer steil ansteigenden Innovationskurve, deren Abflachung noch nicht in Sicht ist.

Mehr Leistung | Eines der Grundziele lautet immer noch, die Laserschneidanlagen mit stärkeren Lasern auszustatten. Laseraggregate mit 20 000 Watt Leistung gibt es schon seit vielen Jahren. Doch erst wenn die Maschine passend ausgelegt ist, steigt mit der höheren Leistung auch die Produktivität. Deshalb liegen die Leistungen der Laseraggregate noch weit unter der 10 000-Watt-Marke. In den nächsten Jahren könnte der Höchstwert von 6 000 Watt beim CO₂-Laser auf 8 000 Watt oder mehr steigen. Damit lassen sich noch dickere Bleche schneller und mit höherer Qualität bearbeiten.

Spiegelschneidkopf | Ab etwa 8 000 Watt reagieren Zink-Selenid-Linsen sehr empfindlich auf Schmutz. Deshalb wird der Spiegelschneidkopf zur Voraussetzung, um höhere Laserleistungen überhaupt nutzen zu können. Da Spiegelschneidköpfe wartungsärmer sind, werden sie sich im Hochleistungsbereich schnell etablieren. Solange die Spiegelschneidköpfe jedoch teurer bleiben, werden Linsenschneidköpfe für niedrigere Leistungen weiterhin eingesetzt werden.

Schneidkopfwechsel | Für die Weiterentwicklung der Automatisierung spielt der automatische Schneidkopfwechsel eine wesentliche Rolle. Er stellt dabei die Maschinenhersteller vor eine wesentlich größere Herausforderung als der Düsenwechsel: Zum einen muss der Schneidkopf präzise in der Maschine sitzen, zum anderen müssen dabei mehrere Versorgungsanschlüsse verbunden werden, zum Beispiel der Gaszufluss oder Datenleitungen für die Sensoren. Die Herausforderung liegt

also darin, den Schneidkopf und die Aufnahme in der Maschine so zu gestalten, dass der Wechsel möglichst einfach wird. Der Wechsel selbst verläuft vergleichsweise unspektakulär: Der Wechsler löst den alten Schneidkopf, nimmt ihn aus der Aufnahme und legt ihn ins Magazin. Dann wird der neue Schneidkopf in die Aufnahme eingesetzt und fixiert. Dadurch lassen sich auch Job-Listen abarbeiten, bei denen die Linsenbrennweite gewechselt werden muss, zum Beispiel, wenn Materialdicken und -arten stark voneinander abweichen.

Neue Laseraggregate | Neue Perspektiven bietet der diffusionsgekühlte Laser bei den CO₂-Lasern. Der Laserstrahl entsteht im Hohlraum zwischen zwei Rohren, die ineinander stecken. Der diffusionsgekühlte Laser ist kompakter und leichter als die geströmten CO₂-Laseraggregate. Wie diese ist er praktisch wartungsfrei. Lediglich die Flasche mit dem Lasergas muss etwa alle zwei Jahre getauscht werden.

Unter den Festkörperlasern liefern Scheiben- und Faserlaser hohe Strahlqualitäten, die teilweise besser sind als die von CO₂-Lasern. In den nächsten Jahren müssen sie zeigen, ob sie damit dem Stablaser oder gar dem CO₂-Laser Konkurrenz machen können.

Andere Materialien | Am Laserstrahl liegt es nicht, dass die heutigen Blechbearbeitungsmaschinen nicht auch für das Schneiden von Kunststoffen oder anderen Werkstoffen genutzt werden. Es liegt vielmehr an der Filtertechnik und der Handhabung des Werkstücks. Hybridmaschinen, die zwischen Metall- und Kunststoffbearbeitung hin und her wechseln können, sind in Zukunft durchaus denkbar. Ein Blick in die Forschungslabors von Instituten und Laserherstellern zeigt, dass die Laserschneidmaschine noch lange kein Auslaufmodell ist. Im Gegenteil, ihre Geschichte hat erst vor kurzem begonnen.

1 Flexibel, schnell, berührungslos – mit diesen Vorteilen baut das Laserschneiden seine führende Position in der Blechbearbeitung weiter aus.

