

Laser — ein neues Werkzeug für die Materialbearbeitung

Dipl.-Ing. (FH) Karl Niederberger, Höllriegelskreuth

Die Materialbearbeitung kennt eine ganze Reihe von Verfahren, welche konzentrierte Wärmequellen als Werkzeug einsetzen. Besonders beim Thermischen Trennen, dem Schweißen und teilweise bei der Oberflächenbearbeitung ist dies der Fall. Bisher standen dafür Gasflammen, der elektrische Lichtbogen und der Plasmastrahl als erprobte Energiequellen zur Verfügung.

Seit Mitte der achtziger Jahre hat eine neue zusätzliche Wärmequelle mit einzigartigen Eigenschaften ihren Siegeszug in diesem Kreis angetreten. Es handelt sich dabei um eine Lichtquelle, den Laser.

Das von ihm ausgehende Licht hat so einmalige Eigenschaften, daß es als Werkzeug in der Materialbearbeitung bei einer Vielzahl von Anwendungen unschlagbar ist. Dies gilt sowohl hinsichtlich Qualität, Flexibilität und Arbeitsgeschwindigkeit als auch für die Zuverlässigkeit und Wirt-

schaftlichkeit. In Kombination mit hochpräzisen Führungsmaschinen hat sich der Laser in sehr vielen Betrieben einen festen Platz erobert. Dieser Siegeszug war vor ca. 35 Jahren noch nicht zu erahnen, als der auf theoretischen physikalischen Überlegungen Einsteins beruhende erste Prototyp eines Lasers in einem amerikanischen Labor zum erstenmal „strahlte“.

Der Laser als Energiequelle

Vereinfacht ausgedrückt ist der Laser eine Lichtquelle, die allerdings mit einer üblichen Glühbirne nicht vergleichbar ist. Der Name Laser ist die Abkürzung seines in Englisch beschriebenen Funktionsprinzips: „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ (Lichtverstärkung durch angeregtes Aussenden von Strahlung). Dabei wird der Effekt genutzt, daß es Materialien gibt, die bei Zuführung von

Anregungsenergie eine ganz besondere Art von Licht aussenden. Materialien, die dazu imstande sind, nennt man „Laseraktives Medium“. Wird einem dieser Medien, die gasförmig, flüssig oder fest sein können, zum Beispiel über eine elektrische Anregung Energie zugeführt, so können die Bausteine dieses Mediums, Ionen, Atome oder Moleküle, einen Zustand höherer Energie annehmen. Dieser Zustand ist aber instabil, und die Teilchen gehen schnell wieder in ihren Grundzustand zurück. Dabei wird die zuvor aufgenommene Energie als Strahlung abgegeben. Diese Strahlungsabgabe, auch Emission genannt, kann spontan, also ungerichtet oder induziert, in eine bestimmte Richtung abgegeben werden. Eine spontane Emission erzeugt Strahlung in beliebige Raumrichtungen und mit unterschiedlichen Wellenlängen; dies ist kein Laserlicht, sondern das Licht einer Glühbirne.

Prinzipschema Laser

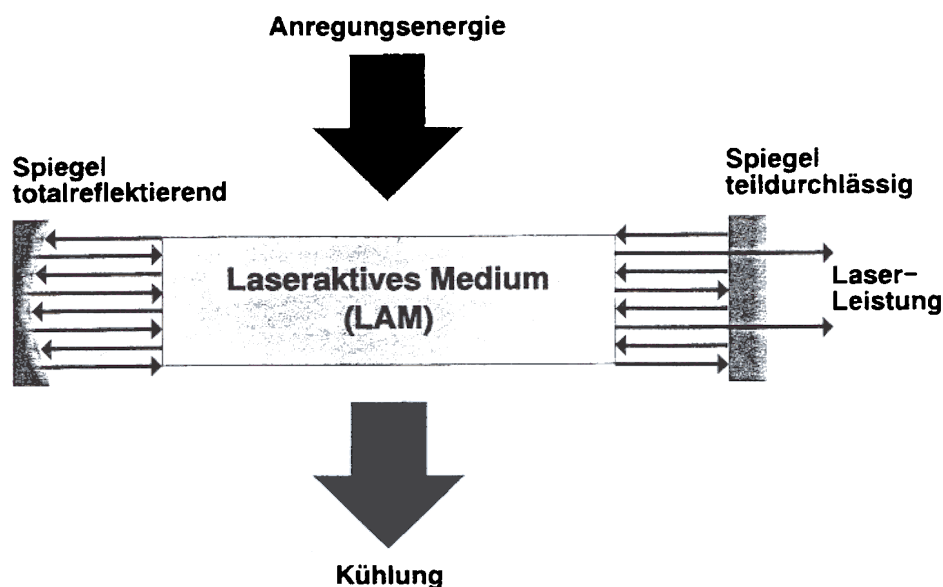


Bild 1 Prinzipschema Laser

In den laseraktiven Medien allerdings läuft die Emission induziert ab. Dies bedeutet, daß ein angeregtes Teilchen, veranlaßt durch die Strahlungsabgabe eines Nachbarteilchens, seine Strahlung (Energie) mit gleicher Richtung und Wellenlänge wie dieses abgibt und selbst wiederum ein anderes Teilchen zum gleichen Verhalten anregt (stimuliert). Dieser Vorgang setzt sich kaskadenartig fort und führt so zum Entstehen einer kontinuierlichen Laserstrahlung (Bild 1).

Eine Laserquelle für die Materialbearbeitung besteht im Prinzip aus drei Hauptkomponenten.

Im Resonator befindet sich das laseraktive Medium. Er ist mit Spiegeln an beiden Enden versehen, zwischen denen der erzeugte Laserstrahl zur Verstärkung mehrmals hin- und herläuft. Die Auskopplung des nutzbaren Strahls geschieht über einen dieser Spiegel, der teildurchlässig ist.

Die Anregung führt dem Resonator die Energie für den Laserprozeß zu. Dies kann optisch geschehen über Blitzlampen beim

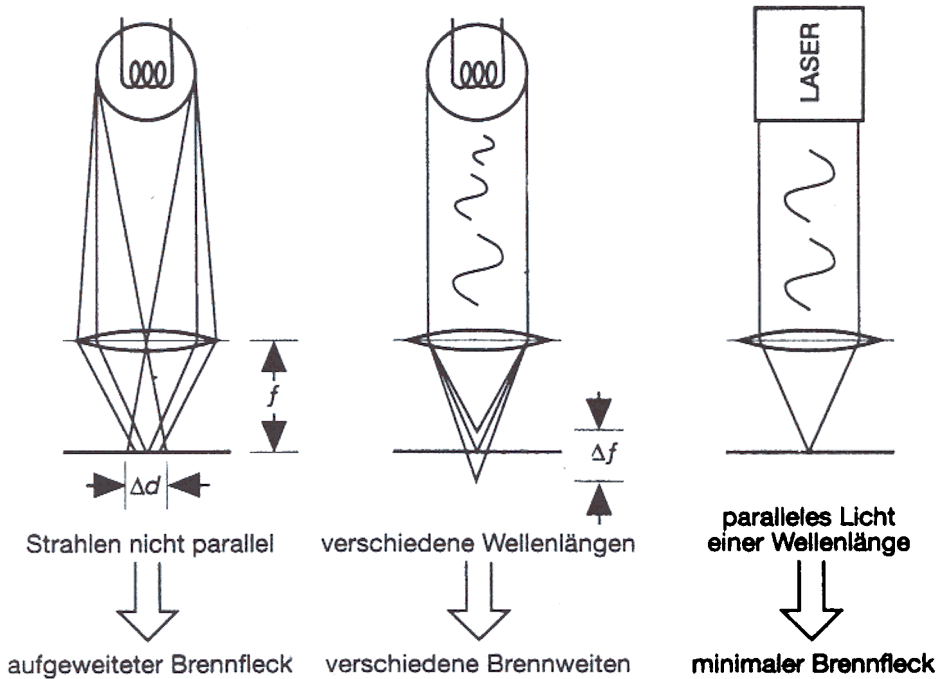


Bild 2 — Fokussierbarkeit unterschiedlicher Lichtquellen

Festkörperlaser oder über eine elektrische Gasentladung beim Gaslaser.

Die Kühlung ist von entscheidender Bedeutung für die Stabilität des Laserprozesses, da durch den physikalisch bedingten niedrigen Wirkungsgrad (max. 10–15 % beim CO₂-Laser) der Großteil der eingebrachten Energie als Wärme abgeführt werden muß.

Der Laserstrahl, welcher aus dem Resonator austritt, hat nun ganz besondere Eigenschaften. Seine Wellenlänge wird bestimmt vom laseraktiven Medium. Beim CO₂-Gaslaser beträgt sie 10,6 µm, beim Neodym-YAG-Festkörperlaser liegt sie bei 1,06 µm, also bei beiden im unsichtbaren Infrarot-Bereich. Für die Materialbearbeitung hängt von der Wellenlänge die Wechselwirkung des Laserstrahls mit dem Werkstoff ab, zum Beispiel in der Frage der Absorption/Reflexion. Als Lichtstrahl unterliegt der Laserstrahl den Gesetzen der Optik. Das Laserlicht eines Resonators hat immer nur eine Wellenlänge und ist praktisch parallel gerichtet. Dies führt bei der Fokussierung auf einen Brennfleck zum entscheidenden Vorteil für den Laser (Bild 2).

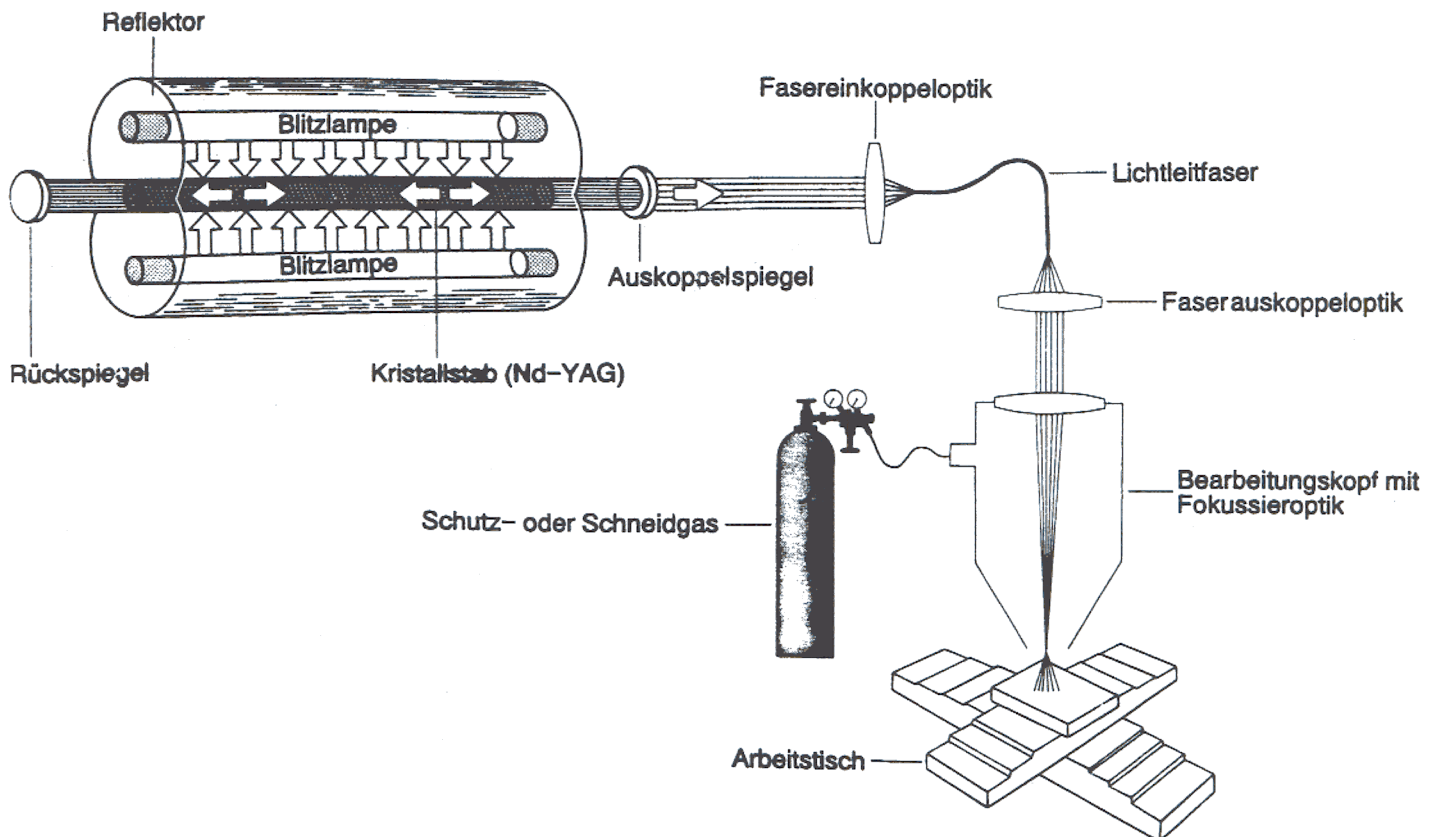


Bild 3 — Prinzipschema Nd:YAG-Festkörperlaser

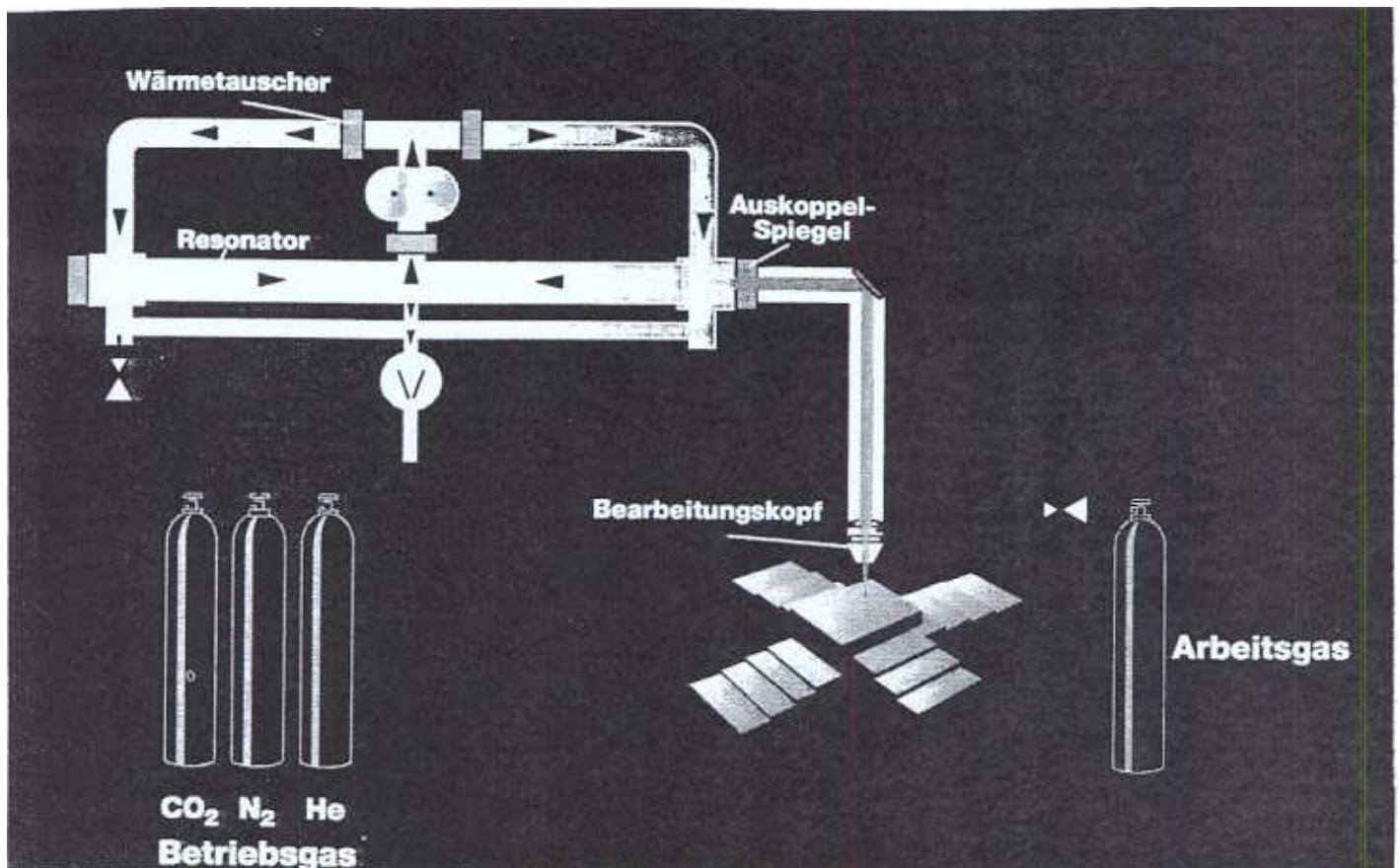


Bild 4 — Prinzipschema CO₂-Gaslaser

Egal, ob über Spiegel oder Linsen, der Laserstrahl läßt sich optimal auf einen Fleck konzentrieren. Diese eng begrenzte, sehr hohe Energieeinbringung ist der entscheidende Vorteil des Lasers bei der Anwendung in der Materialbearbeitung. Der Laser kann Intensitäten von bis zu 10⁸ W/cm² bieten, dies ist mehr als das 1.000fache einer Autogenflamme. Auch läßt sich seine Energie kontinuierlich (cw) oder gepulst aus dem Resonator entnehmen. Für besondere Einsatzfälle läßt sich auch eine kurzzeitige Leistungsüberhöhung, der Superpuls, realisieren, dies zum Beispiel zum Lochstechen ins volle Material. Der Laserstrahl ist somit ein sehr variables Werkzeug.

Laser-Typen für die Materialbearbeitung

Den Anforderungen der Materialbearbeitung werden zwei Laserarten besonders gerecht. Der CO₂-Gaslaser und der Nd:YAG-Festkörperlaser.

Beim Nd:YAG-Festkörperlaser ist in den

Kristall Yttrium-Aluminium-Granat (YAG) das laseraktive Neodym dotiert. Die Anregung erfolgt über Blitzlampen, der Laser wird also optisch »gepumpt«. Er wird sehr

oft gepulst betrieben. Nd:YAG-Laser mit bis zu 2 kW Leistung sind am Markt verfügbar. Aufgrund seiner Wellenlänge von 1,06 µm kann sein Strahl sowohl über

LASPUR®-Gasgemische

Standard-Gasgemische für CO ₂ -Laser und Markierlaser	CO ₂	N ₂	He	CO	O ₂	speziell für Laser z. B. folgender Hersteller:
	LASPUR® 101		90			
LASPUR® 207	3,4	15,6	81			Panasonic (Mazak-Systeme)
LASPUR® 110	4,5	13,5	82			MG-Eurolas, Coherent
LASPUR® 216	5	55	40			Fanuc (Amada-Systeme, u.a.)
LASPUR® 124	6	20	74			Lectra
LASPUR® 228	7	28	65			Trumpf
LASPUR® 144	12	12	76			Apollo, MLI
LASPUR® 252	2	8	82	8		} Markierlaser
LASPUR® 262	8	8	82	2		
LASPUR® 264	8	16	72	4		

LASPUR®-Gasgemische in beliebigen Zusammensetzungen nach Herstellervorgabe oder auf Kundenwunsch sind bei Linde jederzeit kurzfristig lieferbar.

Bild 5 — LASPUR®-Gasgemische für CO₂-Laser

Spiegel und Linsen geführt und geformt als auch in einer Glasfaser geleitet werden. Mit letztgenannter hat man eine sehr flexible Strahlführung, welche den Nd:YAG-Laser für Roboteranwendungen prädestiniert (Bild 3).

Der CO₂-Gaslaser ist das Arbeitspferd der Laser-Materialbearbeitung. Sein Resonator enthält ein Gasgemisch aus CO₂ (Kohlendioxid), N₂ (Stickstoff) und He (Helium). Je nach Hersteller, Bauart und Anregung (Gleichstrom oder HF) ist dieses Gemisch unterschiedlich. Die CO₂-Moleküle bilden das laseraktive Medium, der N₂ unterstützt die Übertragung der Anregungsenergie auf das CO₂. Helium mit seiner großen Wärmekapazität sorgt für die thermische Gesundheit des Prozesses, weil es die Wärmeabfuhr entscheidend unterstützt (Bild 4).

Der CO₂-Laser deckt ein Leistungsspektrum von 50 W bis zu 25 kW ab, die meisten Anlagen arbeiten mit Lasern von 1 bis 3 kW beim Schneiden und ab 3 kW beim Schweißen und Oberflächenbehandeln. Seine Wellenlänge von 10,6 µm erlaubt die Verwendung einer Glasfaser zur Strahlführung nicht mehr. Sein Strahl läßt sich aber über Spiegel und Linsen optimal führen. Er wird sowohl in 2-D-Anlagen zur Bearbeitung ebener Teile als auch in 3-D-

Anlagen für räumliche Bauteile verwendet. Häufig wird er auch in kombinierten Maschinen mit einem Nibbler zusammen eingesetzt.

LASPUR® — Laser-Betriebsgase

Linde hat speziell für die zum Betrieb von CO₂-Lasern benötigten Gase einen Markennamen schützen lassen. LASPUR® umfaßt hauptsächlich die Gasgemische und reinen Gase, die im Laserresonator eingesetzt werden. Bild 5 zeigt, welche Vielzahl an speziellen Lasergasgemischen mit besonderen Anforderungen an Reinheit und Gemischgenauigkeit vom Markt verlangt wird. Daneben kommen CO₂ 4.5, N₂ 5.0 und He 4.6 natürlich auch als Einzelgase mit diesen hohen Reinheiten (4.5 bedeutet 99,995 %) zum Einsatz. Selbstverständlich umfaßt das LASPUR®-Programm auch die gesamte Gasversorgung vom Gasbehälter bis zum Laser (Bild 5).

Der Laser als Werkzeug

Die Materialbearbeitung bietet dem Laser vielfältige Einsatzgebiete. Im folgenden werden einige typische Laser-Domänen näher betrachtet. Aus Sicht einer Gasfir-

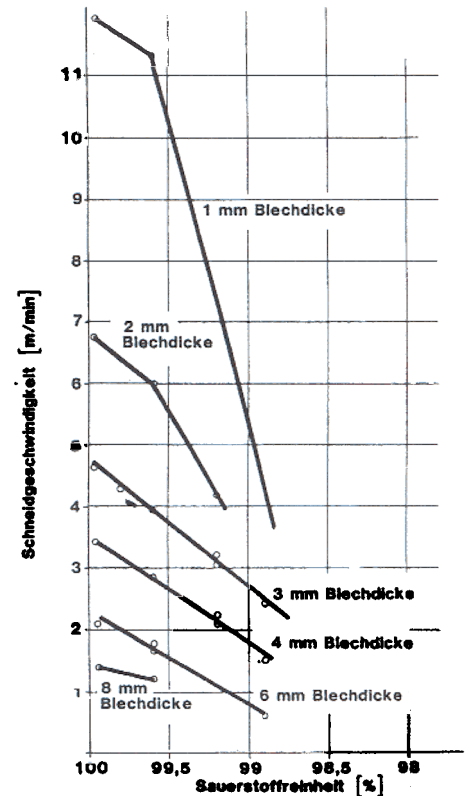


Bild 7 Einfluß der O₂-Reinheit auf die Schneidgeschwindigkeit beim Laserbrennschneiden

ma besonders interessant ist dabei der Einsatz von Arbeitsgasen bei den jeweiligen Bearbeitungsprozessen. Für den Laser zur Bearbeitung geeignet sind alle Metalle, Kunststoffe, Holz, Stoffe, Gummi und vieles mehr.

Laserstrahlschneiden

Mit über 85 % aller Laseranwendungen in der Metallbearbeitung dominiert das Schneiden. Zum Einsatz kommen CO₂-Laser und vereinzelt auch Nd:YAG-Laser. Je nach verwendeter Laserleistung und dem eingesetzten Arbeitsgas unterscheidet man drei Arten des Schneidens:

Laserbrennschneiden:

Der Laser bringt das Material auf Zündtemperatur, und der eingesetzte Sauerstoff (O₂) verbrennt den Werkstoff in der Fuge und treibt ihn aus. Hierbei ist die höchste Schneidgeschwindigkeit möglich.

Laserschmelzschnneiden:

Der Laser macht das Material im Brennfleck schmelzflüssig, und ein inertes Gas wie Stickstoff (N₂) treibt es mit Drücken bis zu 20 bar aus der Schnittfuge aus.

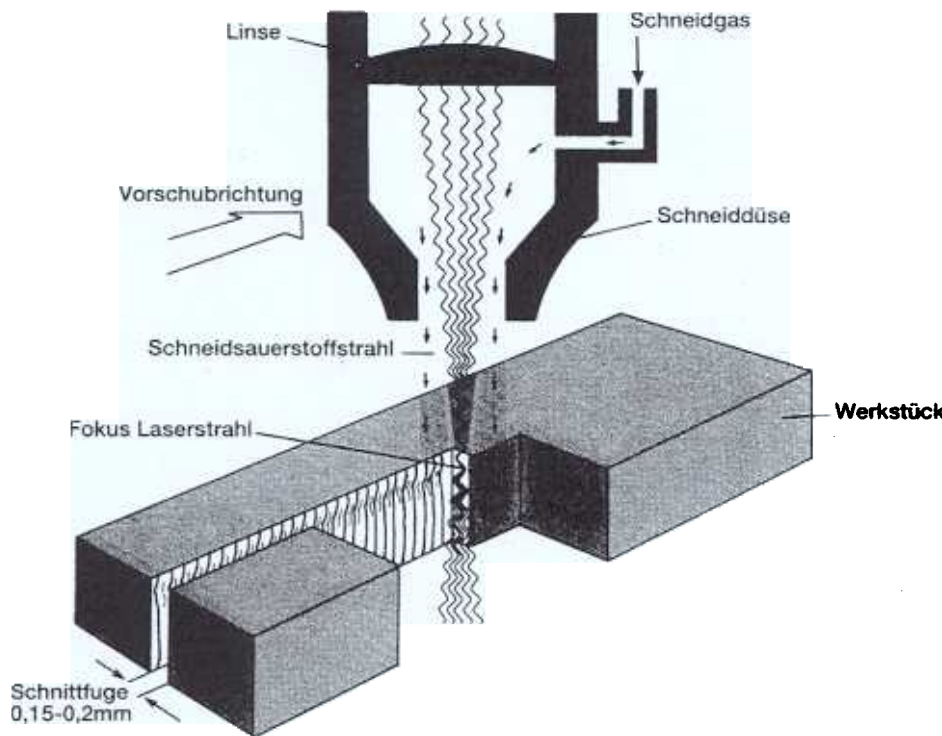


Bild 6 — Prinzipbild Laserstrahlschneiden

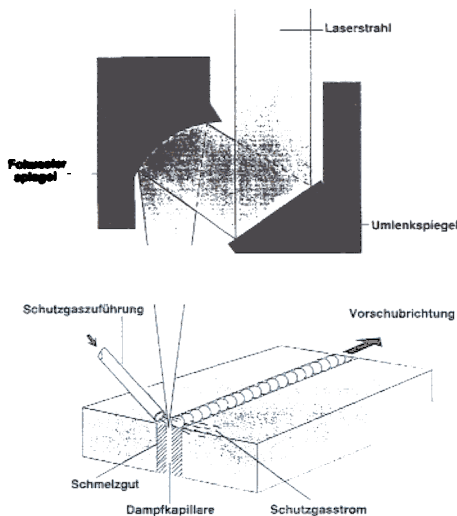


Bild 8 — Prinzipbild Laserstrahlschweißen

Lasersublimierschneiden: Der Laser verdampft mittels hoher Energiedichte den zu schneidenden Werkstoff sofort beim Auftreffen auf die Werkstoffoberfläche. Ein inertes Gas wie Stickstoff oder Argon treibt die Reaktionsprodukte aus der Schnittfuge (Bild 6).

Beim Schneiden bietet der Laser durch seinen extrem kleinen Brennfleck ($\varnothing 0,1-0,2$ mm) Schnittfugenbreiten in dieser Größenordnung. Dies läßt das Ausschneiden feinsten Konturen zu. Durch die hohe Energiedichte kann sehr schnell geschnitten werden, und trotzdem gelangt nur wenig Wärme ins Material neben der Schnittfuge. Somit entsteht praktisch auch kaum Verzug an den Bauteilen. Die erzielbare Schneidgeschwindigkeit hängt mit davon ab, welches Schneidgas eingesetzt wird. Auch die Qualität des Schnitts wird entscheidend vom gewählten Schneidgas bestimmt. Beim Brennschneiden mit dem Laser haben ausführliche Untersuchungen in unserem Laserlabor ergeben, daß Sauerstoff der Reinheit 3.5 (99,95 %) entscheidende Vorteile gegenüber dem üblichen O_2 bringt. Bei optimaler Qualität mit geringer Rauhtiefe und ohne Schlackebart läßt der höherreine O_2 bis zu 15 % schnellere Schneidgeschwindigkeiten zu. In Mark und Pfennig bedeutet dies pro Schnittmeter einen Kostenvorteil von über 10 % (Bild 7).

Auch beim Laserschmelzschneiden hat das Gas entscheidenden Einfluß, um die Vorteile des Lasers optimal zur Geltung zu bringen. Durch die sehr eng begrenzte Wärmeeinbringung und den N_2 -Einsatz mit Drücken bis zu 20 bar an der Düse

entstehen schmale Schnittfugen in sehr guter Qualität ohne Schneidgrat oder anhaftende Schlacke. Kommt dann noch N_2 hoher Qualität zum Einsatz, so lassen sich auch Anlauffarben auf der Schnittfläche sicher vermeiden, und metallisch blanke Bauteile stehen ohne weitere Nacharbeit ab der Schneidanlage zur Verfügung.

Gerade beim Schneiden erlauben die flexiblen Laseranlagen die Herstellung kompliziertester Konturen mit geringem Programmieraufwand. Der Laserstrahl ist immer ein verschleißfreies Werkzeug und schreckt selbst vor härtesten Materialien nicht zurück. Allein die Reflexion an blanken Materialien kann Probleme bringen und darf nicht unterschätzt werden, weil dadurch Beschädigungen an den Spiegeln und Linsen der Strahlführung möglich werden. Besonders Cu und Alu sowie blanker Edelstahl sind mit Vorsicht zu genießen. Allerdings gibt es auch Mittel gegen diese Gefahr, sei es die leichte Verkantung des Werkstücks, um eventuelle Reflexionen an der Optik vorbeizuleiten, das Aufbringen von absorptions erhöhenden Beschichtungen an der Anschnittstelle oder das Einstechen mit dem Superpuls, weil nach Schnittbeginn die Reflexion deutlich geringer ist.

Laserstrahlschweißen

Der Lasereinsatz für das Schweißen macht etwa 10 % aller Einsatzfälle in der Laser-Materialbearbeitung aus. Dies liegt hauptsächlich daran, daß die Positionierung von zwei Teilen zum Laserschweißen große Sorgfalt und entsprechend genaue Teile erfordert. Bedingt durch den kleinen Fokus müssen die Teile praktisch spaltfrei gespannt werden. Ist dies der Fall, kann ohne Zusatzmaterial eine optimale Naht erzeugt werden. Diese zeichnet sich durch geringe Wärmeeinbringung und damit kaum Verzug, ein sehr schlankes Nahtprofil und eine geringe Spritzerbildung aus. Auch lassen sich sehr hohe Schweißgeschwindigkeiten realisieren, 2–4 m/min sind durchaus üblich. Beim Lasertiefschweißen bildet der Laserstrahl eine bis zur Bauteilunterseite reichende Dampfkapillare. Sie garantiert einwandfreies Durchschweißen. Entscheidend für den Schweiß Erfolg ist auch, daß die Laserleistung am Bauteil ankommt und nicht in einer über der Schweißstelle gezündeten abschirmenden Plasmawolke absorbiert wird. Hier ist das eingesetzte Schweißschutzgas von entscheidender Bedeutung. Um dieser Erscheinung vorzube-

gen, hat Helium sich hervorragend bewährt. Besonders geeignete Bauteile zum Laserschweißen sind exakt positionierte Fugestellen wie bei Getrieberädern, Kuppelungsscheiben, Sägeblättern oder Drehteilen. An Blechteilen oder Karosseriekörpern ist dies nicht so einfach, manchmal kann hier das Schweißen mit Zusatzdraht größere Toleranzen dulden. Der CO_2 -Laser kommt mit Leistungen bis zu 25 kW auch an Großbauteilen zum Einsatz, wie zum Beispiel Pipelinerohre. Der Nd:YAG wird meist für Teile aus der Feinwerktechnik eingesetzt (Bild 8).

Laserstrahl-Oberflächenbehandeln

Die Verfahren der Oberflächenbearbeitung machen nur wenige Prozent der Lasereinsätze aus. Dabei kommen fast ausschließlich CO_2 -Laser der oberen Leistungsklasse um die 5 kW und darüber zum Einsatz. Typisch ist dabei das Arbeiten außerhalb des Strahlfokusses, um größere Arbeitsbreiten und geringere Intensitäten zu erzielen (Bild 9).

Zum einen will man Gefügeänderungen herbeiführen wie zum Beispiel beim Härten, und zum anderen geht es darum, Zusatzwerkstoffe in die Bauteiloberfläche einzubringen wie zum Beispiel beim Pulverbeschichten. In nächster Zukunft werden auf diesem Gebiet vermehrt Anwendungen erwartet.

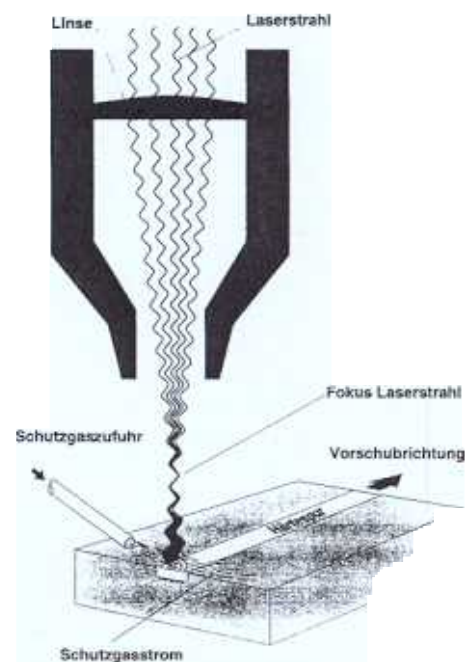


Bild 9 — Prinzipbild Laserstrahl-Oberflächenbearbeitung

LASPUR® — Laser-Arbeitsgase

Zu dem bei Linde unter LASPUR® zusammengefaßten Gasprogramm für die Lasertechnik gehören auch die Arbeitsgase. So werden alle Gase bezeichnet, die als Schneidgas, als Schutzgas oder Formiergas beim Schweißen, als Fördergas beim Pulverbeschichten oder als Spülgas in der Strahlführung beim CO₂-Laser eingesetzt werden.

Es ist für die Qualität und Wirtschaftlichkeit des Lasereinsatzes auf allen Gebieten der Materialbearbeitung von entscheidender Bedeutung, daß die jeweils optimal geeigneten Gase sowohl für die Laser als auch für die Anwendung immer in ausreichender Menge und zu den geforderten Drücken bereitstehen. Dazu gehört auch ein auf die Laserversorgung maßgeschneidertes Programm an Armaturen, Leitungen, Überwachungsgeräten und Zubehör.

Ein eigenes Labor mit einer Laseranlage für die gängigsten Verfahren der Materialbearbeitung stellt sicher, daß sowohl die

Verfahren und die Gase als auch die zugehörigen Versorgungseinrichtungen immer an den Bedürfnissen der Anwender ausgerichtet sind.

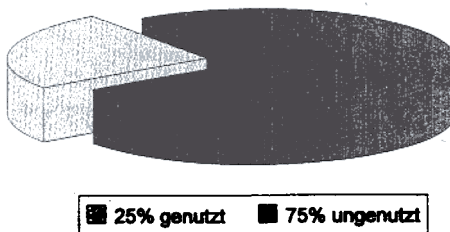


Bild 10 — Marktpotential des Lasers in der Materialbearbeitung

Zusammenfassung

Der Laser ist aufgrund seiner einmaligen Anwendungsparameter für die Materialbearbeitung in vielen Fällen das ideale Werkzeug. Gerade diese lasertypischen Vorteile in der Bearbeitung unterschiedlichster Materialien eröffnen dem Laser immer neue Einsatzgebiete, an die vorher nicht gedacht wurde. So ist er nicht nur in Betrie-

ben der »klassischen« Materialbearbeitung eingesetzt, sondern schweißt in Zahnarztpraxen Teile aus Gold und Silber von Prothesen, teilweise sogar im Mund des Patienten. Oder er schneidet beim Segelmacher moderne Synthetikstoffe zu, wobei das Material an der Schnittkante gleichzeitig verschmilzt und so das Besäumen mit der Nähmaschine entfällt.

Allerdings ist der Laser kein billiges Werkzeug und nicht geeignet, vorhandene Verfahren lediglich zu ersetzen. Es müssen die nur vom Laser zu erbringenden Vorteile auch nutzbar sein, dann rechnet sich sein Einsatz. Oft muß dabei nicht nur die direkte Anwendung betrachtet werden, sondern auch zum Beispiel die Einsparungen an Nacharbeit an den Bauteilen. Dies führt dann häufig zur Entscheidung für den Laser (Bild 10).

Diese noch nicht sehr verbreitete gesamtgesellschaftliche Betrachtung von Materialbearbeitungsaufgaben wird dem Laser zukünftig mehr und mehr Einsatzgebiete erschließen. Man geht heute davon aus, daß erst ca. 25 % seines Einsatzpotentials in der Materialbearbeitung auch genutzt werden.