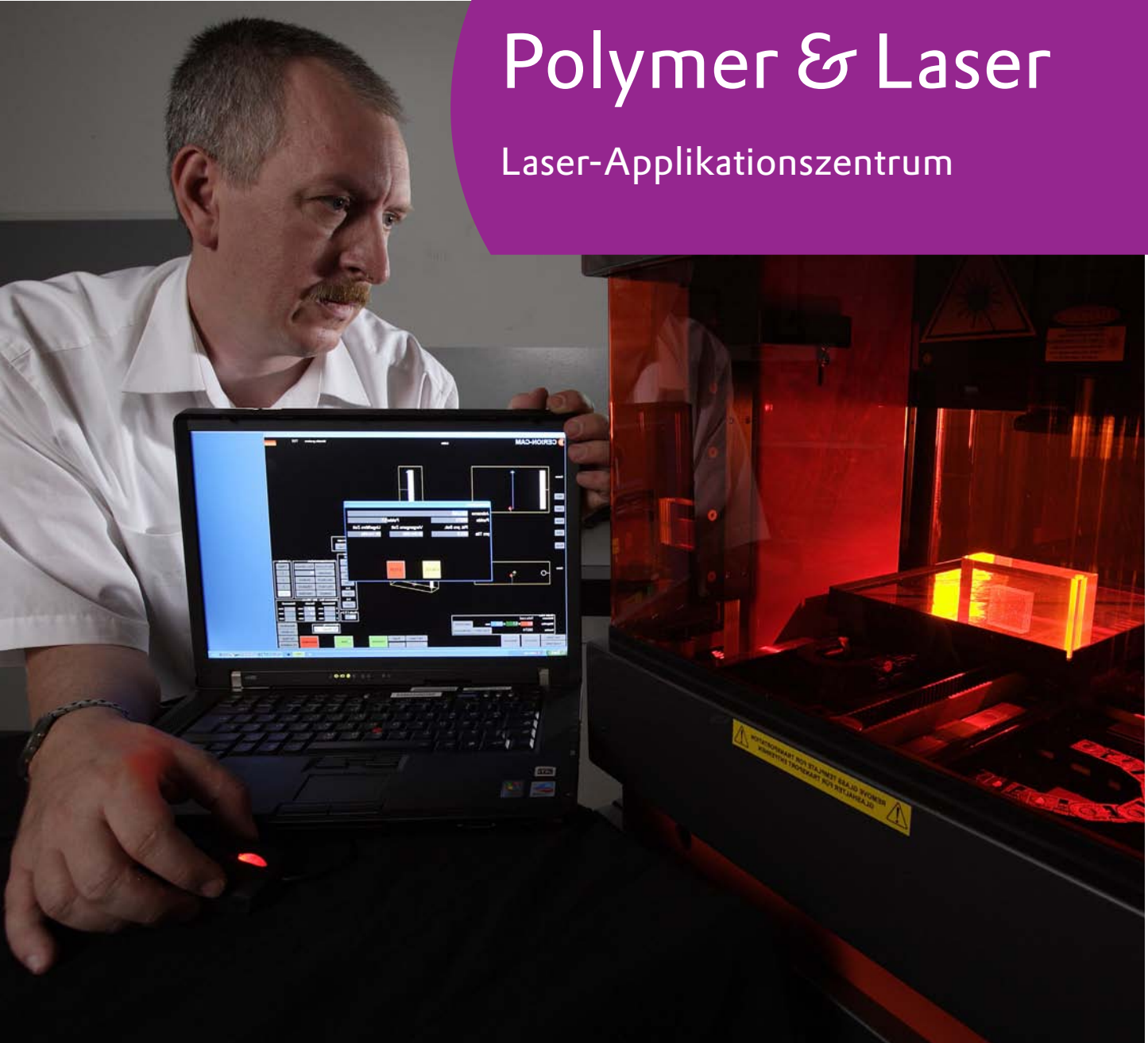


Polymer & Laser

Laser-Applikationszentrum



Performance Polymers

Laser-Applikationszentrum

Inhalt

Einführung	6
Hochleistungskunststoffe der Evonik	7
Laser-Applikationszentrum	8
Lasertechnik	9
Was ist Laserstrahlung?	9
Lasertypen	11
Festkörperlaser	12
Halbleiterlaser	13
Gaslaser	13
sonstige Lasertypen	13
Polymere und Laser	14
Anforderungen	14
Einflussfaktoren auf das Laserschweißen von Kunststoffen	15
Optische Eigenschaften von Kunststoffen	16
Transmissionsspektren	17
Laserbeschriftung	18
Einflussfaktoren beim Laserbeschriften	18
Laserbeschriftung nichttransparenter Kunststoffe	19
Beschriftungslaser	19
Schriftbild und Kontrast nichttransparenter Kunststoffe	20
Laserbeschriftung transparenter Kunststoffe	21
Laserbeschriften mittels NIR-Absorber	21
2D-Laserbeschriftung transparenter Kunststoffe	23
3D-Innengravieren transparenter Kunststoffe	24
Grundlagen des 3D-Laser-Innengravierens	25

3D-Laser zum Innengravieren	26
Einsatzbereiche lasersensitiver, transparenter, farbloser Kunststoffe	27
Vorteile lasersensitiver, transparenter, farbloser Kunststoffe	27
Vorteile der Laserbeschriftung	28
Laserschweißen von Kunststoffen	29
Schwierigkeitsgrade beim Laserschweißen.....	30
Laserschweißvorgang	31
Schweißnahtqualität	32
Schweißnahtqualität beeinflussende Faktoren bei Thermoplasten.....	32
Laserschweißverfahren	33
Konturschweißen.....	33
Simultanschweißen.....	33
Quasi-Simultanschweißen.....	34
Maskenschweißen.....	34
Einsatzbereiche.....	35
Vorteile.....	35
Laserstrukturierung	36
Lasersintern	37
Anforderungen an laserverarbeitbare Formmassen	38
Anwendungsprofile Laserbeschriften.....	38
Anwendungsprofile Laserschweißen.....	38
Anforderungen an laserverarbeitbare Formmassen.....	38
Anwendungsprofile Laserstrukturieren.....	38

Laseradditive	39
Additive für nichttransparente Formmassen.....	39
Additive für (hoch-)transparente, farblose Formmassen.....	39
Laserbearbeitbare Formmassen	40
VESTODUR®.....	40
VESTORAN®.....	40
TROGAMID®.....	41
VESTAMID®.....	41
VESTAKEEP®.....	41
Laserbearbeitbare Halbzeuge	42
EUROPLEX®.....	42
PLEXIGLAS®.....	42
Umweltaspekte	43
Emissionen.....	43
Recycling.....	43
Qualität	43
Ausblick	44
Laserklassen	45
Klassifizierung nach DIN EN 60825-1.....	45
Literatur- und Quellenangaben	46

Performance Polymers

Einführung

Die Anwendungsmöglichkeiten für Lasersysteme zur Bearbeitung von Kunststoffen sind nahezu unbegrenzt. Schnell, flexibel und präzise ist die Lasertechnik nicht nur wirtschaftlicher als die herkömmlichen Verfahren, der technische Vorsprung garantiert eine schnelle Umsetzung innovativer Ideen und Langlebigkeit der verarbeiteten Materialien.

Im Bereich der Beschriftung von Produkten mit einem Barcode kommt zum Aspekt des Kontrastes die Konturenschärfe hinzu - nur wenn sich die Schrift gegenüber der Werkstoffoberfläche deutlich abhebt, kann sie vom Lesegerät fehlerfrei aufgenommen und weiterverarbeitet werden.

Die Miniaturisierung von Bauteilen und ihre immer komplexere Geometrie erfordern Schweißnähte, die in ihrer Feinheit mit herkömmlichen Schweißverfahren nur mit hohem Aufwand oder überhaupt nicht mehr zu erreichen sind. Hier bietet das Laserschweißverfahren Möglichkeiten auch dreidimensionale Verschweißungen in einem Arbeitsgang durchzuführen. Bei der Herstellung von Sensoren für die Medizintechnik können mit dem Laser feinste Schweißnähte auf sehr engem Raum erzeugt werden. Die herkömmliche Herstellung von dreidimensionalen Schaltungsträgern ist an produktspezifische Werkzeuge zur

Herstellung der Leiterbahnstruktur auf dem Bauteil gebunden. Dies schränkt die Flexibilität der Verfahren bei Designänderungen erheblich ein. Die zusätzliche Miniaturisierung der Leiterbahnstrukturen auf MID-Bauteile lässt den zeitlichen und finanziellen Aufwand zusätzlich steigen. Durch den Einsatz spezieller Formmassen und der entsprechenden Technik der Laserstrukturierung bietet sich hier eine flexible und kostengünstige Alternative.

Für Designstudien, im Modellbau aber auch bei Kleinstmengenfertigung werden Teile vielfach noch manuell hergestellt, da die Realisierung entsprechender Spritzgussteile an den hohen Werkzeugkosten scheitert. Hier bietet sich als wirtschaftliche Alternative das Lasersintern an. Die Teile brauchen nur noch an einem CAD-System entwickelt und im anschließenden Rapid-Prototyping-Prozess als Hardware gebaut zu werden.

Der Einsatzbereich der Kunststoffe ist stark von deren Materialeigenschaften und ihrer Kompatibilität mit den in verschiedenen Systemen eingesetzten Laserwellenlängen abhängig. Nicht alle der gängigen Thermoplaste absorbieren die Laserstrahlen gleich gut. Mit speziellen, von den Geschäftsbereichen Performance Polymers und Inorganic Materials der Evonik entwickelten und patentierten

Additiven können unsere Formmassen für die verschiedensten Anwendungszwecke ausgerüstet werden.

Diese Formmassenkomponenten sorgen selbst bei hochtransparenten und farblosen Kunststoffen für eine gute Laserschweißbarkeit (transparent/transparent) und beim Laserbeschriften für ein dunkles Schriftbild von höchster Qualität. Darüber hinaus bietet das Geschäftsgebiet High Performance Polymers verschiedene dunkle bzw. schwarz eingefärbte Produkte an, die kontrastreich hell auf dunkel laserbeschriftbar sind.

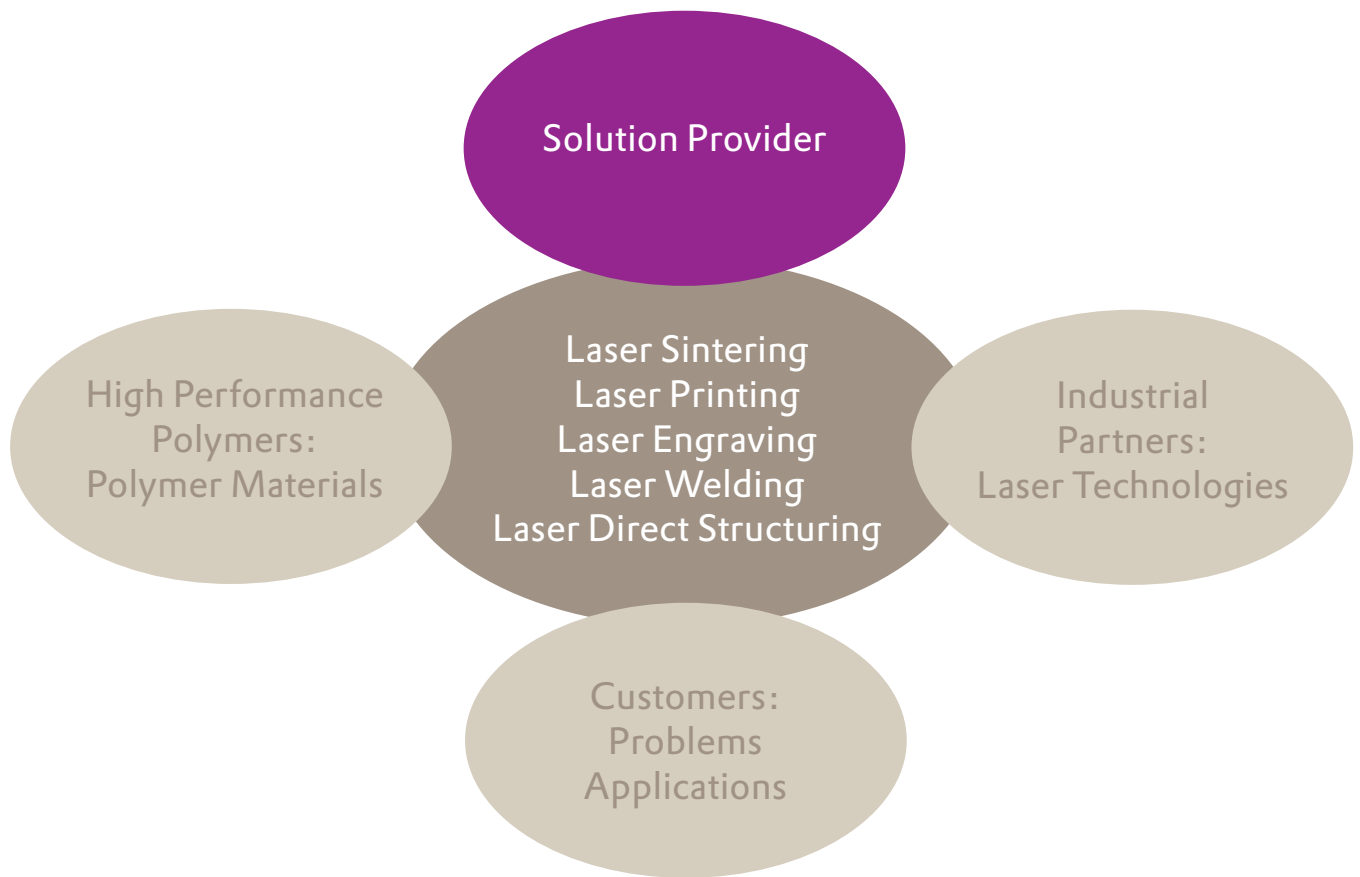
Für die Auswahl des geeigneten laserbearbeitbaren Materials muss das Anforderungsprofil für das Formteil bekannt sein. Die auf den folgenden Seiten tabellarisch zusammengestellten laserbearbeitbaren Formmassen aus der Produktpalette unserer Hochleistungskunststoffe helfen Ihnen, eine Vorauswahl für den geeigneten Werkstoff zu treffen. Wir empfehlen, uns bereits zu Beginn eines neuen Projektes als kompetenten Partner zu Rate zu ziehen. Unser Laser-Applikations-Zentrum hat das Know-how, die für Sie optimale Formmasse auszuwählen und Ihnen schnelle und rationelle Verarbeitungsmöglichkeiten mit diesen Materialien aufzuzeigen.



Hochleistungskunststoffe von Evonik

VESTAMID®	Polyamid 612 (PA 612) Polyamid 12 (PA 12)
TROGAMID®	Polyamid 6-3-T (PA 6-3-T)
VESTODUR®	Polybutylenterephthalat (PBT)
VESTAKEEP®	Polyetheretherketon (PEEK*)
VESTOSINT®	Polyamid 12 Pulver (PA 12)
VESTAMELT®	Copolyamid Schmelzkleber
PLEXIGLAS®	Polymethylmethacrylat (PMMA)
ROHACELL®	Polymethacrylimid Schaum (PMI)
EUROPLEX®	Polyphenylsulfon (PPSU)
VESTENAMER®	Trans-polyoctenamer (TOR)

Laser-Applikationszentrum



Das Laser-Anwendungszentrum von High Performance Polymers bietet Ihnen Hilfestellung beim Einsatz von Lasern mit Polymeren

- umfassende Beratung
- modernste Technik
- Qualitätsprüfung

Polymer & Laser

Das Laser-Anwendungszentrum unterstützt Sie bei der Materialauswahl für alle infrage kommenden Laserprozesse.

Folgende Laseranwendungen können in unserem Hause getestet werden:

- Laserbeschriftung (2D-3D)
- Laserschweißen
- Lasersintern
- Laserstrukturierung

Qualität

Zur Prüfung und Sicherung unserer hohen Qualitätsansprüche können in unseren Prüf- und analytischen Laboratorien umfangreiche Tests an den gelaserten und ungelaserten Materialien durchgeführt werden, z.B.:

- Transmissionsmessungen
- Haze
- Rasterelektronenmikroskopie (REM)
- Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)
- Lichtmikroskopie
- Zugprüfung

und viele andere physikalische und chemische Prüfungen.

Lasertechnik

Was ist Laserstrahlung?

Das Wort Laser setzt sich aus den Anfangsbuchstaben der englischen Bezeichnung **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung) zusammen und beschreibt einen physikalischen Vorgang, der zur Erzeugung von Laserstrahlung führt.

Im ersten Schritt werden dabei Atome¹⁾ eines Lasermediums (aktives Medium) durch Energiezufuhr angeregt. Diesen Vorgang bezeichnet man als Pumpen (siehe Abbildung). Als aktives Medium können Gase, Festkörper oder Flüssigkeiten verwendet werden.

Die Energiezufuhr kann je nach aktivem Medium durch elektrische Gasentladungen, Blitzlampen, eine angelegte Spannung oder einen anderen Laser erfolgen. Die angeregten Atome geben Photonen, also Lichtteilchen, ab und kehren dabei wieder in den nicht angeregten Zustand zurück. Treffen diese Lichtteilchen auf andere Atome im angeregten Zustand, so können diese ebenfalls Lichtteilchen abgeben, die mit den aufgetroffenen Lichtteilchen in Wellenlänge, Phase und Richtung übereinstimmen. Dieser als „stimulierte Emission“ bezeichnete Vorgang läuft in einem optischen Resonator ab.

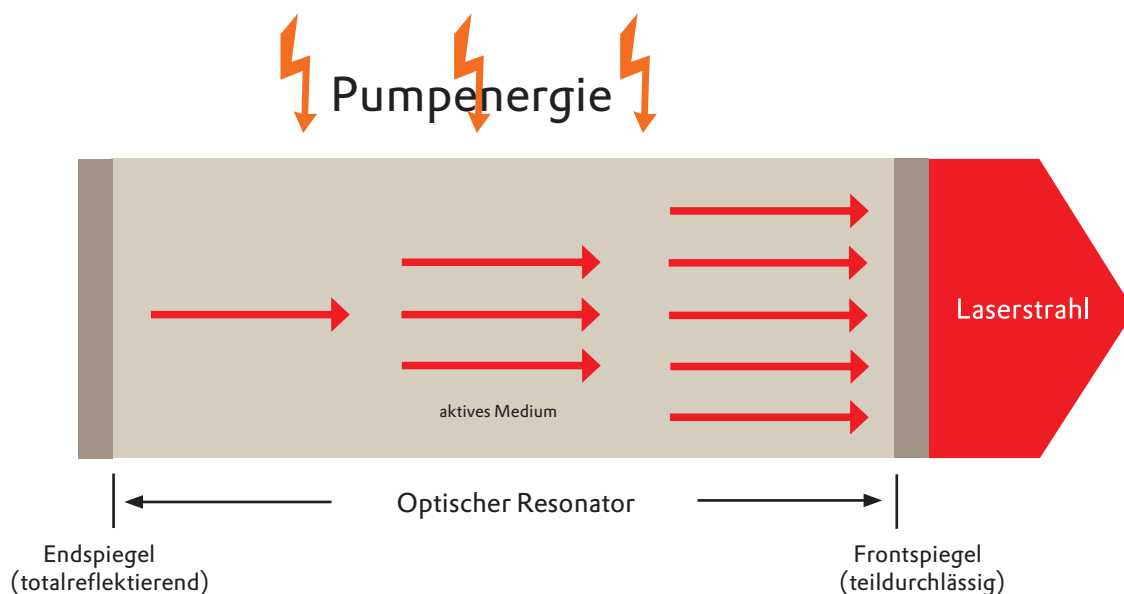


Abb. 1: Aufbau eines Lasers

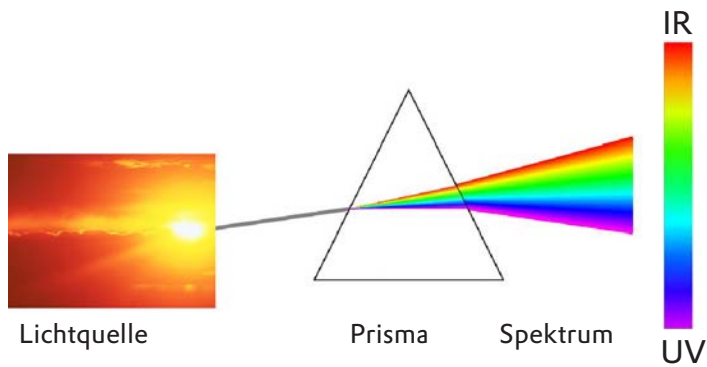
Der Resonator ist z.B. ein (gasgefülltes) Rohr, oder ein Festkörper (Rubin, Halbleiter), an dessen beiden Enden ein Spiegel die Strahlung reflektiert. Diese durchläuft so mehrmals das aktive Medium und regt bei jedem Durchgang weitere Atome zur Abgabe von Lichtteilchen an. Einer der beiden Spiegel ist

teildurchlässig, so dass ein Teil der Strahlung nach außen treten kann.

Die Laserstrahlung unterscheidet sich von der Strahlung konventioneller Strahlungsquellen wie Glühlampen im Wesentlichen durch die folgenden Eigenschaften:

- Kohärenz: die Wellen besitzen eine konstante Phasendifferenz, sie sind zeitlich und räumlich zusammenhängend,
- monochromatisches Licht: die Laserstrahlung weist exakt eine Wellenlänge auf,
- geringe Strahldivergenz: die Laser emittieren eine gebündelte, fast parallele Strahlung.

¹⁾ Atome, Moleküle oder Ionen; der Kürze halber wird im Folgenden nur von Atomen gesprochen.



- „weißes Licht“, emittiert breites Spektrum
- Lichtleistung mW ...W
- nicht kohärent
- ungerichtete Abstrahlung

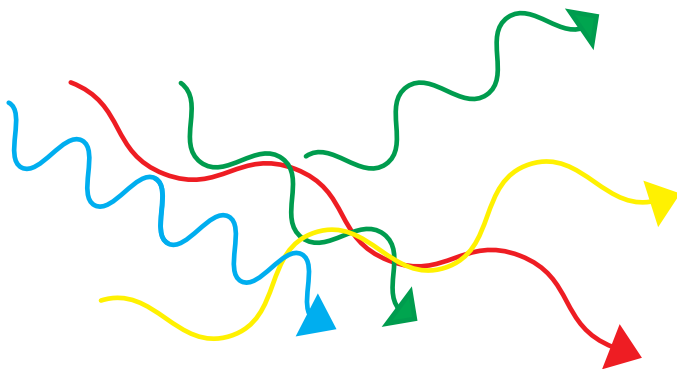
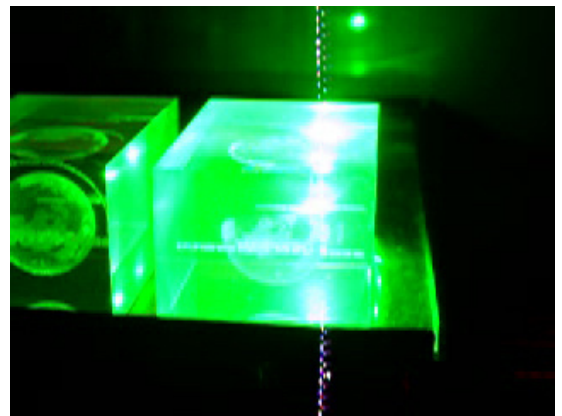


Abb. 2: normales Licht



- monochromatisch (einfarbig)
- Lichtleistung mW ...MW
- räumlich und zeitlich kohärent
- gerichtete Abstrahlung, „Laserstrahl“
- gute Bündelung (Fokussierung) des Strahls

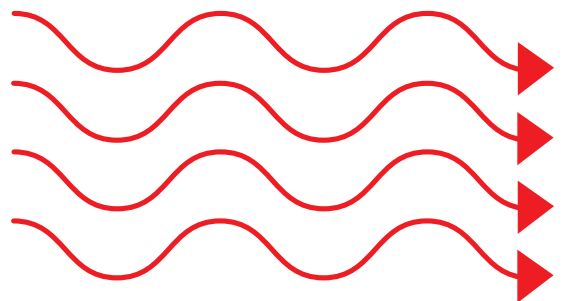


Abb. 3: Laserlicht

In der Praxis bedeutet dies: Laserstrahlen lassen sich sehr stark bündeln. Es ist kein Problem, sie auf kleinste Räume zu fokussieren. Das wird zum Beispiel in jedem CD-Player ausgenutzt, um die mikroskopisch kleinen Strukturen auf der CD auszulesen. Gleichzeitig lassen sich mit Laserstrahlen aber auch enorme Energien auf einen Punkt bündeln, um z.B. Werkstoffe sehr präzise zu schneiden, zu beschriften oder zu schweißen.

Da die Laser für die verschiedenartigsten Zwecke eingesetzt werden, unterscheiden sie sich daher auch in ihrem Aufbau. Die Wellenlängen reichen vom fernen Infrarotbereich (IR-Bereich) über das sichtbare Licht bis hin zum Ultravioletten Bereich (UV-Bereich) (Abb. 4).

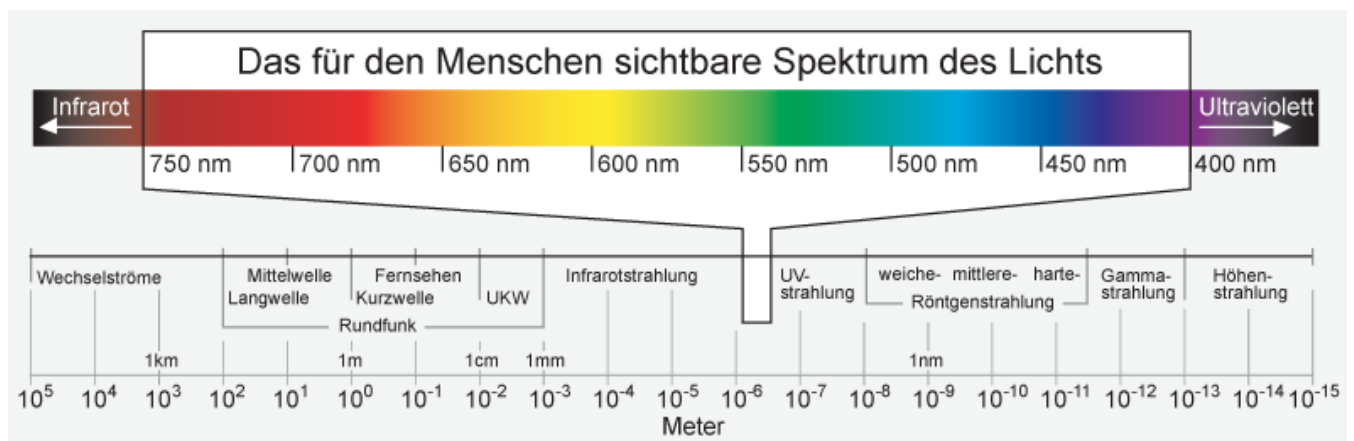


Abb. 4: Das elektromagnetische Spektrum

Lasertypen

Lasere werden nach dem eingesetzten optisch aktiven Material kategorisiert und benannt. Je nach dem verwendeten aktiven Medium gibt es verschiedene Laser-Typen:

Gas-, Festkörper- oder Flüssigkeits- bzw. Farbstofflaser (Abb. 5)

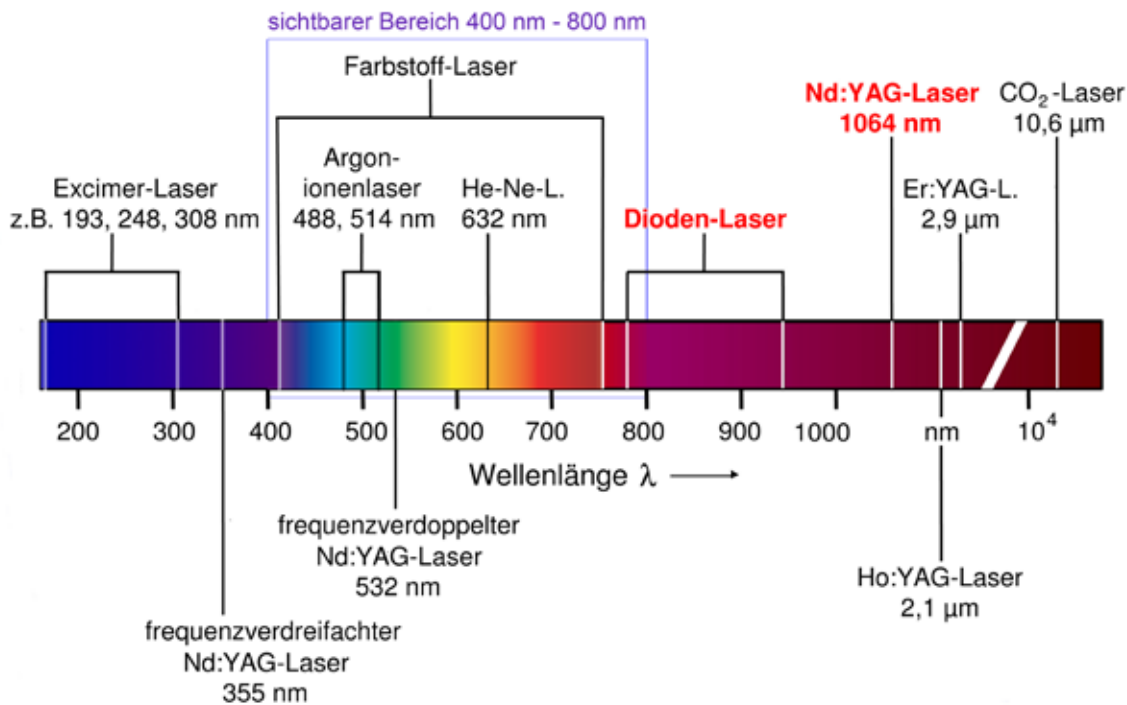


Abb. 5: Typische Laser und ihre Wellenlängen

Man kann Laser auch danach unterteilen, ob sie die Strahlung kontinuierlich (Dauerstrich-, oder cw-Laser; cw = continuous wave, Abb. 6) aussenden oder gepulst arbeiten. Laser, die mit einer Strahlungsdauer von mehr als 0,25 s strahlen, werden als Dauerstrichlaser bezeichnet. Gepulste Laser senden in regelmäßigen Zeitabständen Strahlungsimpulse aus, die eine Dauer im Bereich von Femtosekunden bis 0,25 Sekunden haben können (Abb. 7).

P_L = Laserleistung (W)
 T = Pulsperiode

P_S = Spitzenleistung (W)
 t_p = Pulsbreite

P_m = mittlere Leistung (W)

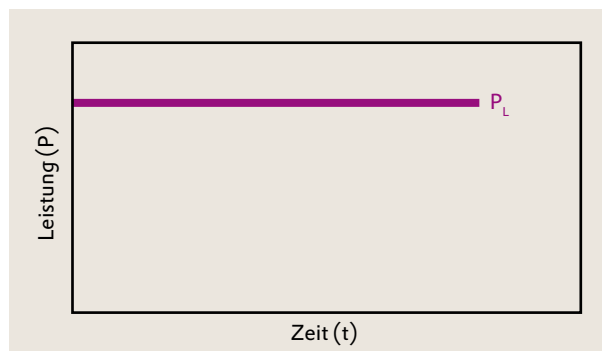


Abb. 6: Dauerstrich- (cw-)Laser

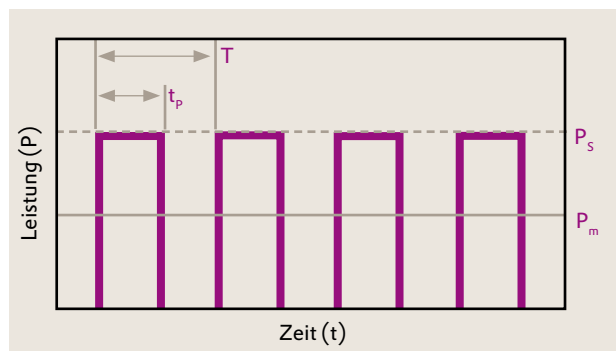


Abb. 7: gepulster Laser

Festkörperlaser

Der Festkörperlaser war der erste Lasertyp; Maiman entwickelte im Jahre 1960 den Rubinlaser.

Bei Festkörperlasern wird ein Trägerwerkstoff bzw. Wirtskristall mit Ionen eines fremden Stoffes dotiert. Diese Ionen bilden, eingebettet im Wirtsmaterial, das eigentliche aktive Medium. Diese Orbitale sind nicht an chemischen Bindungen beteiligt. Das Trägermaterial (Wirtskristall, Glas) nimmt daher nur geringen Einfluss auf die Eigenschaften der Ionen.

Festkörperlaser werden nach der Art und Form des Wirtsmaterials und den Dotierungselementen unterschieden:

Beispiele für Wirts- bzw. Trägermaterialien

- Glas (Stabform oder Faserlaser)
 - Vorteil: einfache Herstellung auch in großen Dimensionen
 - Nachteil: geringe Wärmeleitfähigkeit, geringe Festigkeit
- Al_2O_3 (Korund, Saphir) (z. B. Rubinlaser (Chrom-Dotierung), Titan: Saphir-Laser)
 - Vorteil: hohe Wärmeleitfähigkeit, hohe Festigkeit
 - Nachteil: relativ hohe Absorption, teuer
- YAG (Yttrium-Aluminium-Granat-Laser, siehe Nd:YAG-Laser) Dotierung Nd, Er, Yb
 - Vorteil: hohe Wärmeleitfähigkeit, hohe Festigkeit, geringe Absorption
 - Nachteil: teuer
- Yttrium-Vanadat (YVO_4), Dotierung Nd

Beispiele für Dotierungsmaterialien

- Chrom war das Dotierungsmaterial des ersten Lasers, des Rubinlasers (694,3 nm (rot)). Aufgrund der geringen Effizienz wird es heute kaum noch verwendet.
- Neodym, 1064 nm, ist der wichtigste kommerzielle Festkörperlaser: Nd:YAG-Laser, bei 1064 nm (infrarot), beziehungsweise Frequenz verdoppelt bei 532 nm (grün). Auch möglich sind Nd:Glas, Nd:YLF.
- Ytterbium, 1030 nm, erlaubt im Laserbetrieb einen hohen Wirkungsgrad > 50 %. Es bedarf dazu allerdings eines schmalbandigen Pumpens mit Laserdioden (940nm). Das wichtigste Material mit dieser Dotierung ist der Yb:YAG-Laser, z. B. hochdotiert als Scheibenlaser mit einer Wellenlänge von 1030 nm.
- Titan, ein wichtiger modengekoppelter Festkörperlaser: Titan:Saphir-Laser, 670-1100 nm (rot-infrarot), aufgrund breitbandiger Verstärkung für Pulse im fs-Bereich geeignet
- Erbium, 3 μm , Pumpen mit Diodenlaser bei 980 nm, sogenannter augensicherer Laser, Verwendung für Laser-Entfernungsmesser und in der Medizin.

Formen des aktiven Mediums

- Stablasers
- Mikrokristalllaser
- Slablasers
- Faserlaser
- Scheibenlaser

Halbleiterlaser

Beim Halbleiterlaser ist das aktive Medium die Diffusionszone der Ladungsträger in einem p-n-Übergang¹⁾ eines Halbleiterkristalls. Der optische Resonator kann dabei durch die Endflächen des Halbleiterkristalls gebildet werden, da der hohe Brechungsindex des Kristalls eine hohe Reflektivität bewirkt.

Laserdioden sind direkt elektrisch gepumpte Laser. Die Leistung von Laserdioden liegt zwischen <1W und 10W. Die Strahlqualität nimmt mit steigender Leistung ab.

Mehrere Einzeldioden können in einem schmalen Chip (ca. $0,1 \times 1 \times 10$ mm) nebeneinander integriert sein. Diese sogenannten Barren (engl. bar) liefern, auf eine Wärmesenke montiert, bis über 50 Watt. Die Einzeldioden sind dabei elektrisch parallel geschaltet. Den montierten Barren nennt man auch „submount“. Durch Kopplung vieler, in einem sogenannten stack (Stapel) untergebrachter Barren bzw. submounts werden Leistungen im kW-Bereich bei entsprechend schlechter Strahlqualität erreicht. Bis zu 6 Stapel kann man durch verschiedene Wellenlängen (üblich bis 3) und Polarisationsrichtungen verlustarm ohne Verschlechterung der Strahlqualität optisch addieren. Damit erreicht man Leistungen im zweistelligen kW-Bereich.

Zum optischen Pumpen von Festkörper-Lasern durch Laserdioden muss die Pumpwellenlänge exakt getroffen werden, daher ist hierbei keine Wellenlängenkopplung möglich. Die Diodenlaser müssen jedoch hierzu ohnehin nicht zu Strahlen mit hoher Leistungsdichte zusammengefasst werden.

Die Diodenlaser, im Wellenlängenbereich von ca. 800 nm bis ca. 1000 nm sind inzwischen neben den Nd:YAG-Lasern (1064 nm) die wichtigsten industriellen Laser zur Bearbeitung von Kunststoffen.

Weitere Halbleiterlaser sind

- Optisch gepumpte Halbleiterlaser, auch Halbleiter-Scheibenlaser
- Quantenkaskadenlaser
- Oberflächenemittierende Laser (VCSEL) (sowohl optisch als auch elektrisch gepumpt)
- Abstimmbarer Laser (Tunable Laser Source, TLS) mit veränderbarer Wellenlänge

Gaslaser

Bei Gaslasern ist das aktive Medium gasförmig. Zumeist werden Gaslaser elektrisch durch eine Gasentladung im aktiven Medium selbst gepumpt.

Die wichtigsten Gaslaser, die bei der Verarbeitung von Polymeren zum Einsatz kommen sind

- Kohlendioxidlaser (CO_2 -Laser): etwa $10,6 \mu\text{m}$ Wellenlänge (mittleres Infrarot), wichtiger Industrielaser zum Schneiden und Beschriften
- Excimerlaser, z. B. KrF (248 nm), XeF (351-353 nm), ArF (193 nm), XeCl (308 nm), F2 (157 nm) (alles ultraviolett), zum Beschriften.

Sonstige Lasertypen

Weitere Lasertypen sind z.B. Farbstofflaser, Farbzentrenlaser und Freie-Elektronen-Laser (FEL).

¹⁾ **p-n-Übergang** [Abkürzung für positiv-negativ-] ist die Grenzschicht zwischen einem p-leitenden und einem n-leitenden Bereich in einem Halbleiter. Das starke Konzentrationsgefälle der Ladungsträger an der Grenzschicht bewirkt, dass einige Löcher aus dem p-leitenden in den n-leitenden und umgekehrt einige Elektronen aus dem n-leitenden in den p-leitenden Bereich diffundieren und dort mit den jeweiligen Ladungsträgern rekombinieren.

Polymere und Laser

Anforderungen

Für die Laserverarbeitung können praktisch alle Kunststoffe verwendet werden, wobei allerdings material- und verfahrensspezifische Einschränkungen berücksichtigt werden müssen.

Kunststoffe absorbieren im Bereich des nahen ultravioletten bis nahen infraroten Lichtes keine Laserstrahlung. Eine Umsetzung der Laserenergie in (Schmelz-)Wärme ist deshalb nur möglich, wenn das Polymer durch Zusatz eines Additivs entsprechend „lasersensibilisiert“ wurde.

Ohne Laseradditiv können Kunststoffe deshalb nur im fernen ultravioletten Licht, z.B. mit Eximer-Lasern und im fernen infraroten Licht, z.B. mit CO₂-Lasern bearbeitet werden (Abb. 8)

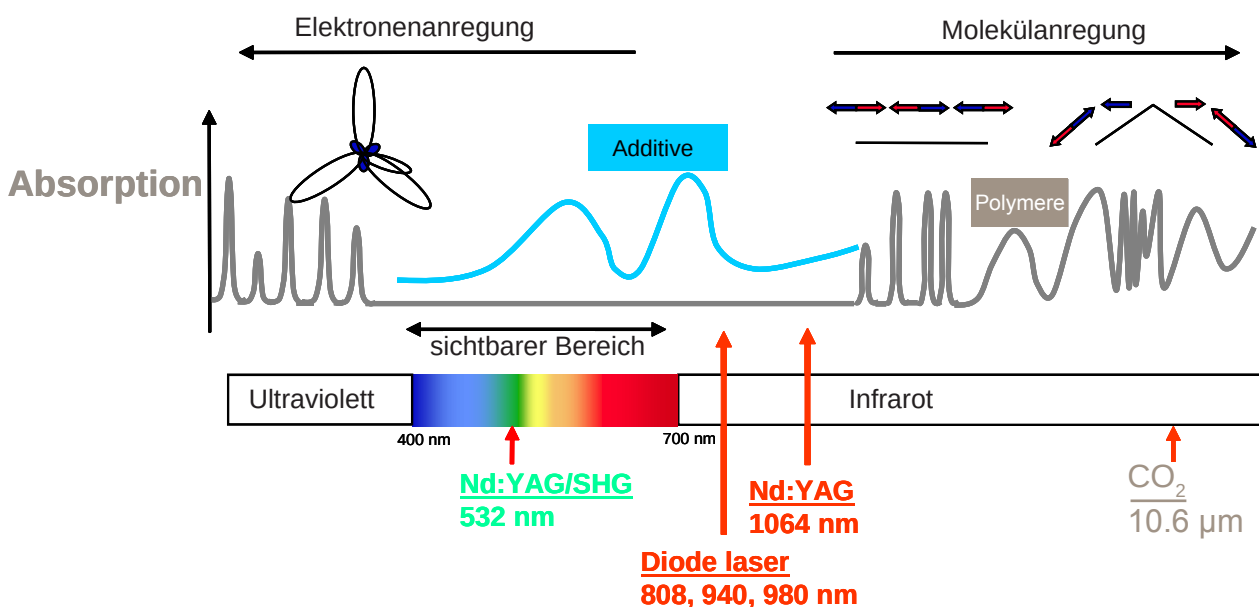


Abb. 8: Lichtabsorption von Polymeren und Laserwellenlängen

Werden Kunststoffe zum Laserschweißen eingesetzt, müssen hier im Besonderen die materialspezifischen Eigenschaften der verschiedenen Kunststoffarten berücksichtigt werden.

Thermoplaste, sowohl amorphe, wie auch teilkristalline, sind gut schmelzbar und haben einen Schmelztemperaturbereich oberhalb dessen sie sich zersetzen (Abb. 9).

Neben der Morphologie beeinflussen auch Füllstoffe, z.B. Glasfasern, die Verschweißungseigenschaften.

Einflussfaktoren auf das Laserschweißen von Kunststoffen

Die vernetzten Kunststoffe aus der Klasse der Duroplaste und Elastomere (Ausnahme: Thermoplastische Elastomere, TPE/TPU) sind nicht schmelzbar. Sie sind daher für das Laserschweißen nicht geeignet. Gleichwohl können sie zum Laserbeschriften verwendet werden.

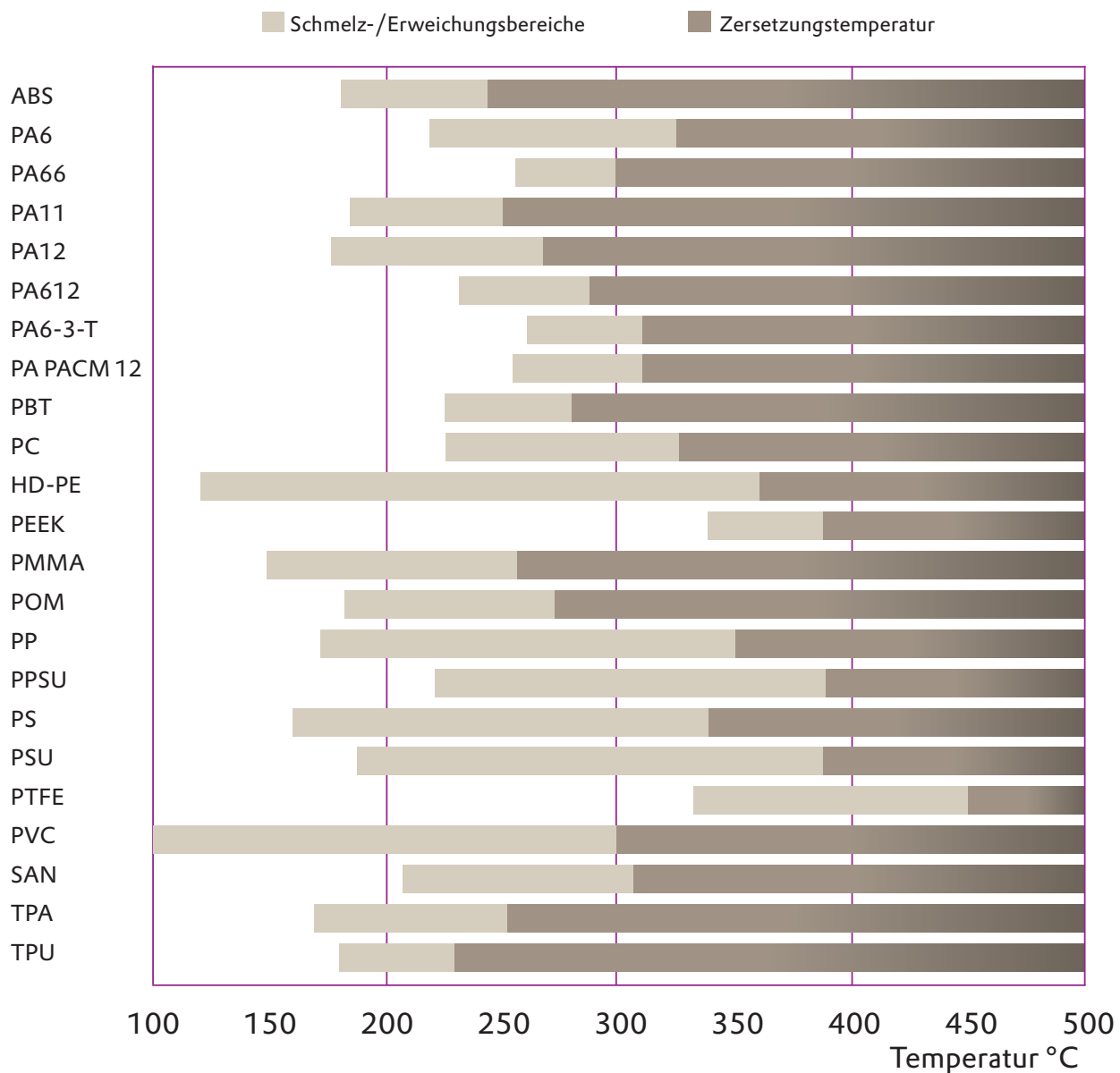


Abb. 9: Schmelz- bzw. Erweichungsbereiche von Kunststoffen

Optische Eigenschaften von Kunststoffen

Trifft ein Laserstrahl auf eine ebene Grenzfläche zwischen zwei Medien mit unterschiedlichen Brechungsindizes, so wird er je nach den Stoffeigenschaften des Hindernisses zum Teil an den Grenzflächen reflektiert, beim Durchqueren absorbiert und die restliche Strahlung transmittiert. Die Summe dieser Strahlungen ist dabei immer 100 %.

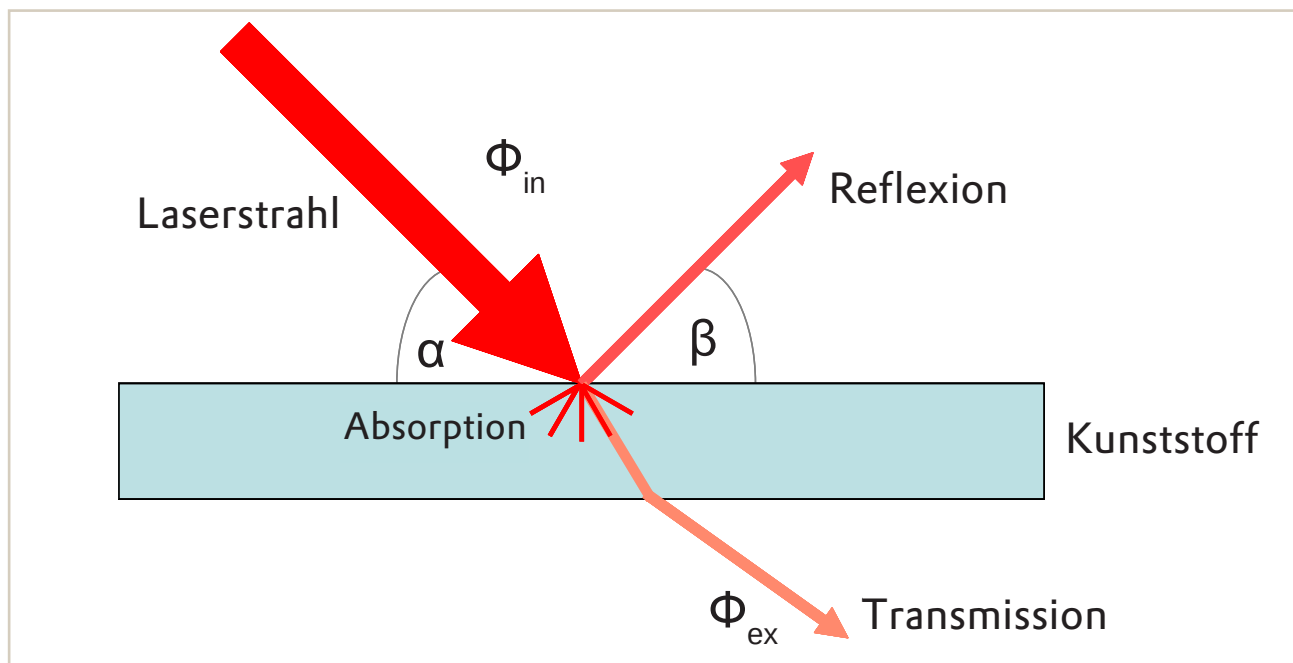


Abb. 10: Optische Eigenschaften von Kunststoffen

Absorption

Absorption (lat.: absorptio = Aufsaugung) tritt auf, wenn Leistung aus dem Lichtstrahl auf den Kunststoff übertragen wird. Absorbierte Lichtanteile werden i.d.R. in Wärme umgewandelt, können aber auch durch Streuung an Fehlstellen im Aufbau der Materialien (Luft, o.ä.) verloren gehen (Abb.10).

Polymere absorbieren im Bereich des ultravioletten bis infraroten Lichtes keine Laserstrahlung. Eine Umsetzung der Laserenergie in (Schmelz-)Wärme ist deshalb nur möglich, wenn das Polymer durch Zusatz eines Additivs entsprechend „lasersensibilisiert“ wurde (Abb. 8)

Reflexion

Von Reflexion (lat. reflectere: zurückbeugen, drehen) spricht man, wenn zum Beispiel elektromagnetische Wellen, von einer Oberfläche zurückgeworfen werden (Abb.10).

Das Verhältnis der Brechzahlen und Absorptionskoeffizienten der Kunststoffe bestimmen die Intensität

der Reflexion und Transmission. Für die Reflexion gilt das einfache Gesetz (bei glatten Oberflächen): Einfallswinkel (α) des Lichtstroms gleich Reflexionswinkel (β).

Streuung

Streuung von elektromagnetischen Wellen erfolgt meist an Fehlstellen im Aufbau von Materialien, zum Beispiel bei schlechter Verteilung von Additiven, Lunkern (Lufteinschlüsse), etc...

Haze

Mit Haze wird der Streuanteil des durchfallenden Lichts bei transparenten Kunststoffen bezeichnet. Niedrige Haze-(Trübungs-)Werte zeigen also eine hohe Transparenz an.

Transmission

Die Transmission (von lat. trans „(hin)durch“ und mittlere „schicken“) ist eine Größe für die Durchlässigkeit eines Mediums für, zum Beispiel, elektromagnetische Wellen (Licht, usw.) (Abb.10).

Transmissionsgrad

In der Optik beschreibt der Transmissionsgrad den Anteil des einfallenden Strahlungsflusses oder Lichtstroms, der ein transparentes Bauteil komplett durchdringt.

Der Transmissionsgrad τ ist definiert als der Quotient zwischen dem Strahlungsfluss des austretenden (durchgelassenen) Lichtstrahls (Φ_{ex}) und dem Strahlungsfluss des einfallenden Lichtstrahls (Φ_{in}).

$$\tau = \Phi_{\text{ex}} / \Phi_{\text{in}}$$

Der Transmissionsgrad ist u.a. abhängig von der Wellenlänge und somit von der Frequenz der elektromagnetischen Welle, bzw., von der Farbe des Lichtes, sowie vom Einfallswinkel der Welle.

Transmissionsspektren

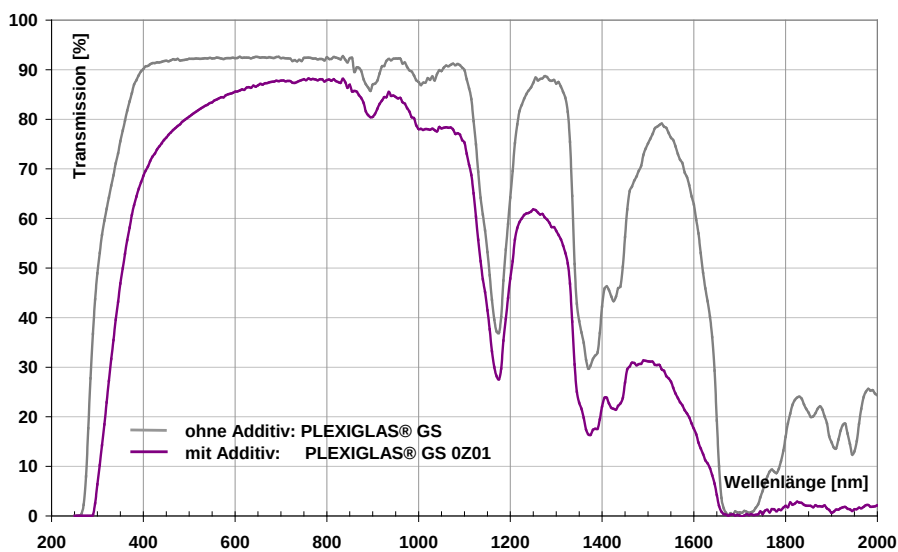


Abb. 11:
Transmissionsspektren von
nanomodifiziertem PMMA

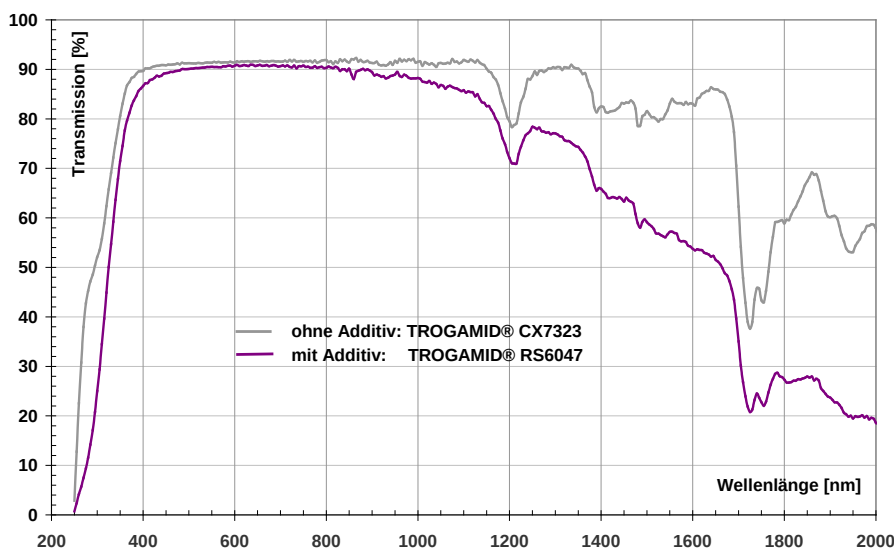


Abb. 12:
Transmissionsspektrum von
nanomodifiziertem TROGAMID® CX7323

Laserbeschriftung

Die Anwendungsmöglichkeiten für Lasersysteme in der Beschriftung von Kunststoffen sind nahezu unbegrenzt. Schnell, flexibel und präzise ist die Lasertechnik nicht nur wirtschaftlicher als die herkömmlichen Druck- und Spritzgießverfahren, der technische Vorsprung garantiert Langlebigkeit und Konturenschärfe der Beschriftung.

Im Bereich der Beschriftung von Produkten mit einem Barcode oder Data-Matrix-Code kommt zum Aspekt der Konturenschärfe die des Kontrastes hinzu - nur wenn sich die Schrift gegenüber der Werkstoffoberfläche deutlich abhebt, kann sie vom Lesegerät fehlerfrei aufgenommen und weiterverarbeitet werden.

Kontrast und Konturenschärfe der Beschriftung mit Lasertechnik sind jedoch abhängig von den Materialeigenschaften der verwendeten Kunststoffe und ihrer Kompatibilität mit den verschiedenen Lasersystemen und deren Wellenlängen. Nicht alle der gängigen Thermoplaste absorbieren die Laserstrahlen gleich gut, was den Kontrast beeinträchtigen oder sogar verhindern kann.

Die Beschriftung von Kunststoffen im Bereich der Wellenlängen des UV-, sichtbaren und IR-Lichtes ist direkt, oder unter Einsatz von Laseradditiven möglich.

Weil der Nd:YAG-Laser (1064 nm) (Abb. 13) in der Praxis am häufigsten verwendet wird, sind mittlerweile die meisten Formmassen für Laserbeschriftung auf die Wellenlänge dieses Lasers abgestimmt. Außerordentlich gute Kontraste werden erzielt, wenn die Werkstoffe mit speziellen, vom Geschäftsgebiet High Performance Polymers von Evonik entwickelten und patentierten Additiven ausgerüstet sind. Dazu gehören auch die speziell für transparente Kunststoffe entwickelten Laseradditive des Geschäftsbereiches Inorganic Materials von Evonik.

Bei nichttransparenten Kunststoffen sorgen diese Laseradditive für ein dunkles Schriftbild von höchster Qualität auf nahezu allen hellen Farbeinstellungen - unabhängig von der Pigmentierung des Kunststoffes und auch bei einer Selbsteinfärbung bei der Verarbeitung. Darüber hinaus bietet das Geschäftsgebiet High Performance Polymers verschiedene dunkle bzw. schwarz eingefärbte Produkte an, die kontrastreich hell auf dunkel laserbeschriftbar sind.

Die mit Laseradditiv ausgerüsteten hochtransparenten Kunststoffe von Evonik zeichnen sich durch ihre absolute Farblosigkeit und einen sehr geringen Haze aus. Auch hier ist das Schriftbild sehr kontrastreich und von höchster Qualität.

Für die Auswahl des geeigneten laserbeschriftbaren Materials muss das Anforderungsprofil für das zu beschriftende Formteil bekannt sein.

Einflussfaktoren beim Laserbeschriften

Die Beschriftbarkeit eines Kunststoffes ist nur abhängig von seinen Materialeigenschaften und dem evtl. eingesetzten Laseradditiv. Die Beschriftungseffekte wie Farbumschlag, Aufschäumen und Karbonisieren beruhen auf dem Wechselwirkungsmechanismus von Materialeigenschaften und Laserwellenlänge. Entscheidende Merkmale für die Beschriftungsqualität sind die Homogenität der Formmasse, die exzellente Verteilung des Laseradditivs und die entsprechenden Laserparameter.



Abb. 13:
Nd: YAG-Beschriftungslaser
1064 nm (Fa. Baasel-Lasertechnik)

Laserbeschriftung nichttransparenter Kunststoffe

Beschriftungslaser

Schreiblaser

Der Schreiblaser bietet Flexibilität. Der Laserstrahl wird von zwei computergesteuerten Galvanometerspiegeln in x- und y-Richtung abgelenkt und mit einer Linse auf das zu beschriftende Teil fokussiert. Ein Feld von etwa 10 cm x 10 cm kann an jedem beliebigen Punkt beschriftet werden. Damit ist es möglich, in einer Fertigungsstraße jedes einzelne Teil mit einer individuellen Beschriftung (z.B. Seriennummer) zu versehen.

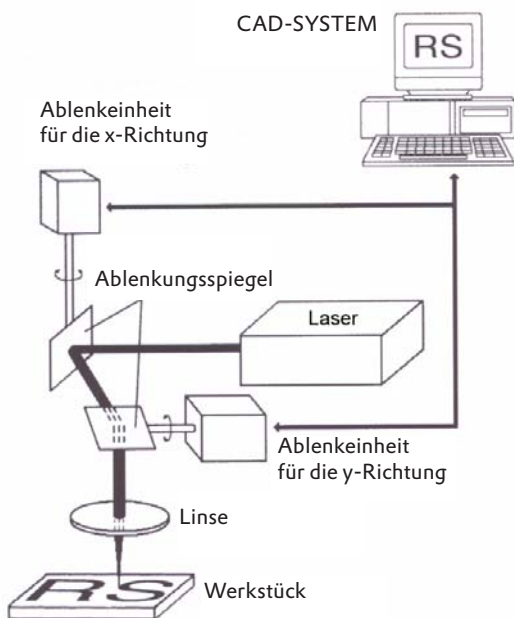


Abb. 14:
Schreiblaser

Maskenlaser

Nicht so flexibel, aber erheblich schneller, ist der Maskenlaser. Der einige Quadratzentimeter große Laserstrahl bildet eine Maske über eine Linse auf das zu beschriftende Teil ab. Mit diesem Verfahren sind bis zu 200 Markierungen pro Sekunde möglich.

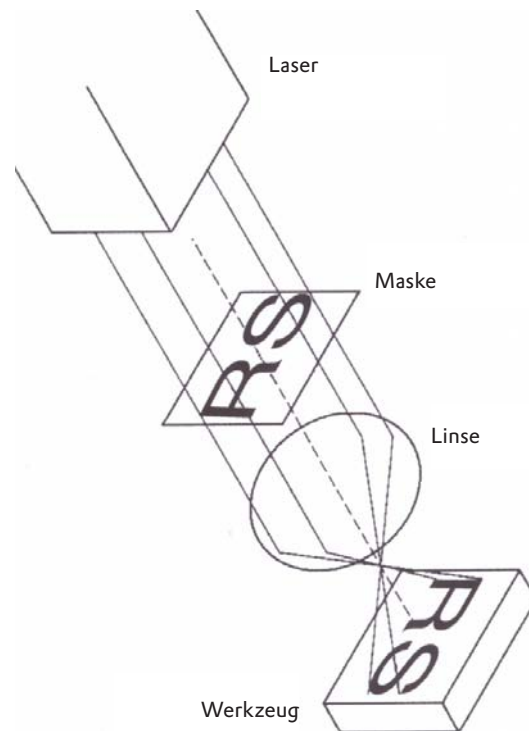


Abb. 15:
Maskenlaser

Dot-Matrix-Verfahren

Beim Dot-Matrix-Verfahren wird ein Laserstrahl über einen rotierenden Spiegel „zerhackt“. Über die Bewegung des zu beschriftenden Teils wird vergleichbar mit einem Tintenstrahldrucker eine aus Einzelpunkten bestehende Markierung erzeugt. Dieses Verfahren stellt eine Sonderform des Laserbeschriftens von Kunststoffen dar, da es nur für wenige thermoplastische Kunststoffe eingesetzt werden kann.

Das Dot-Matrix-Verfahren eignet sich zur Chargen-Datenkennzeichnung mit hoher Markiergeschwindigkeit. Die Markiergröße ist allerdings beschränkt und die Markierung ist nur von bewegten Teilen möglich.

Schriftbild und Kontrast nichttransparenter Kunststoffe

Anhand lichtmikroskopischer Aufnahmen an Dünnschnitten lassen sich die Verfärbungstiefe und die Aufschäumhöhe ermitteln (Abb. 16, 17 und 18). Die Verfärbungstiefe sollte mindestens $100\text{ }\mu\text{m}$ betragen [a], und die Aufschäumhöhe [b] sollte möglichst gering sein. Die wichtigste Charakterisierungsgröße der erzielten Beschriftung ist die Lesbarkeit, die mit dem Kontrast quantifiziert werden kann. Dieser wird mit Hilfe eines Leuchtdichtemessgerätes bestimmt. Um

Glanzwinkeleffekte auszuschalten, wird die Messstelle mit einer Ulbrichtkugel mit einer Leuchtstärke von 200 Lux beleuchtet. Es werden die Hintergrundleuchtdichte (HLD) und die Zeichenleuchtdichte (ZLD) bestimmt. Der Kontrast K ergibt sich daraus als Verhältnis $K = \text{HLD} / \text{ZLD}$. Nach den Prüfsätzen der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft GS-VWSG7 muss für Zeichen auf Tastenkappen $K \geq 3$ sein.



Abb. 16: Kontrast ohne Additiv



Abb. 17: Kontrast mit Additiv



Abb. 18:
Charakterisierung der Laserbeschriftung
durch Beurteilung von Verfärbungstiefe (a)
und Aufschäumhöhe (b)

Abb. 19:
ohne Additiv,
hohe
Aufschäumhöhe

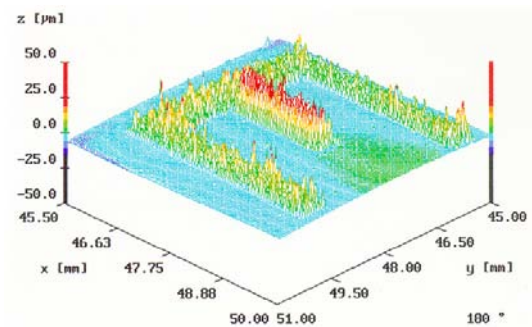
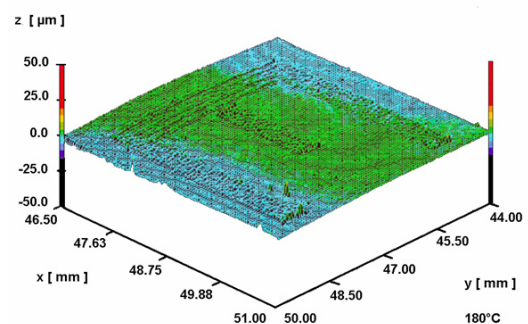


Abb. 20:
niedrige
Aufschäumhöhe
durch
Verwendung eines
Additivs



Oberflächenprofile des Buchstaben
E bei gleicher Laserenergie

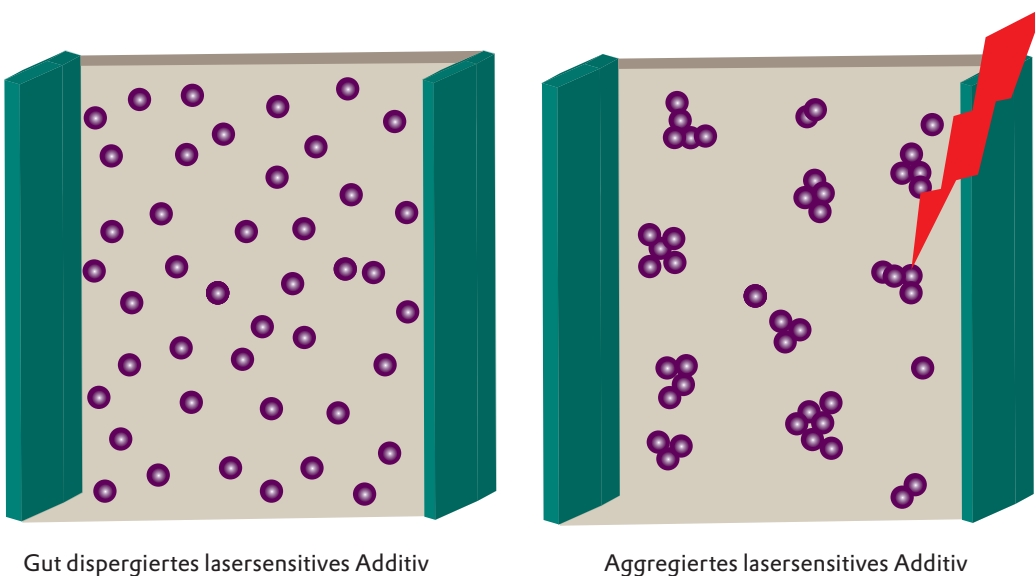
Laserbeschriftung transparenter Kunststoffe

Das Lasermarkieren transparenter Kunststoffe war bislang auf gefärbte Thermoplaste beschränkt. Es war also nicht möglich in transparenten Kunststoffen die Laserenergie selektiv einzukoppeln. Dieses Problem lässt sich zwar durch den Zusatz entsprechender Additive oder Pigmente lösen, doch geht dies auf Kosten der Transparenz und der Farblosigkeit. Wissenschaftlern von Evonik ist es aber gelungen, diese Schwierigkeiten zu überwinden und das Verfahren auch auf transparente Polymere auszudehnen.

Laserbeschriften mittels NIR-Absorber

Dabei gelang nun die Entwicklung einer Technologie, mit der transparente Kunststoffe, die von Natur aus nicht oder schlecht lasermarkierbar sind, lasermarkierbar ausgerüstet werden können. Verwendet werden dazu nanoskalige Metalloxide, die sichtbares Licht wegen ihrer geringen Teilchengröße nicht streuen, aber die Wellenlänge des Lasers im Nahinfrarotbereich (NIR) absorbieren. Da der Nd:YAG-Laser (1.064 nm) in der Praxis am häufigsten zum Einsatz kommt, wurden die Additive auf die Wellenlänge dieses Lasers abgestimmt. Die Kunst bei der Einmischung der Metalloxide liegt darin, ihre Tendenz zum Agglomerieren zu kontrollieren und sie möglichst homogen in die Polymermatrix zu dispergieren. Nur unter dieser Voraussetzung lassen sich kontrastreiche Beschriftungen erzeugen und auch höchste Auflösungen und Konturenschärfen realisieren. Diese Infrarotabsorber werden in PLEXIGLAS® (Polymethylmethacrylat, PMMA) und in TROGAMID®, ein transparentes Polyamid,

eindispersiert. Hierfür kommen u.a. neue Compoundierverfahren zum Einsatz. Fällt nun ein Laserstrahl auf die Metalloxide, absorbieren sie die Energie und erwärmen ihre direkte Umgebung – es kommt zum Aufschäumen, da gasförmige Abbauprodukte im Mikrometerbereich entstehen, oder zur Karbonisierung (Abbau zu Kohlenstoff). Die Folge ist eine lokal begrenzte Änderung des Brechungsindex, der die Markierung, beispielsweise einen Schriftzug, sichtbar macht. Die Additive erzeugen dabei keinen Farbumschlag, sondern erscheinen je nach Polymer und Wahl der Laserparameter in Graustufen von Weiß bis Schwarz. Realisieren lassen sich die Markierungen sowohl in PLEXIGLAS® als auch in TROGAMID® in Schichtdicken von weniger als 100 Mikrometern. Auch sind Designs mit mehreren Lagen (Multilayer) möglich, bei denen die laserempfindliche Schicht zwischen zwei transparente Deckschichten eingebettet wird.



Gut dispergiertes lasersensitives Additiv

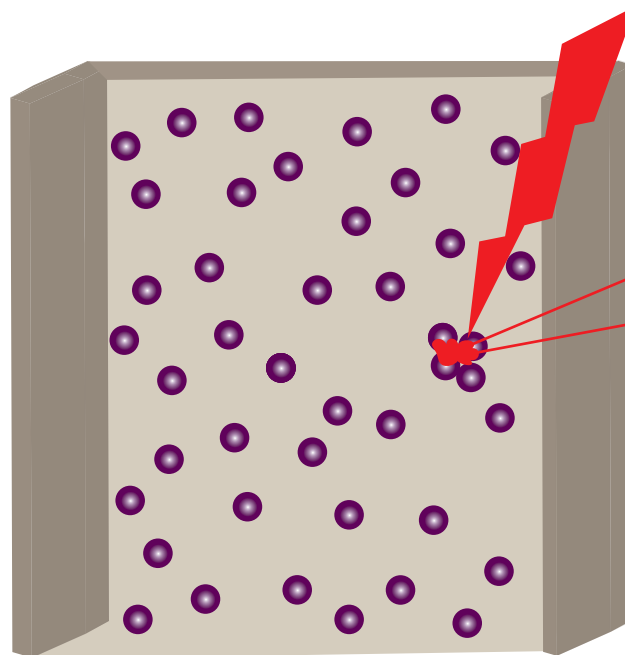
Aggregiertes lasersensitives Additiv

Abb. 21:
Dispersierungsgüte des NIR-Absorbers

Verwendung nanoskaliger NIR-Absorber ●

in transparenten Polymeren wie PLEXIGLAS® (PMMA) oder TROGAMID® (PA)

zum Laserbeschriften oder -innengravieren



Fokussierter Laserstrahl

Nanoskalige Partikel absorbieren im NIR

Polymer schäumt auf

Polymer karbonisiert

Änderungen des Brechungsindex oder Karbonisierung macht die Markierung sichtbar

Abb. 22: Mechanismus des Laserbeschriftens und -innengravierens mittels NIR-Absorber

Die möglichen Einsatzfelder dieser neuen Technologie zur Laserbeschriftung (hoch-)transparenter Kunststoffe sind daher vielfältig. Da die Beschriftung fälschungssicher und sehr beständig ist, eignet sie sich beispielsweise für Ausweise, Barcodes oder Pharmaverpackungen. Die Medizintechnik könnte ebenfalls von dem berührungslosen Verfahren profitieren, da es im Gegensatz zu anderen Markierungsverfahren wie Bedrucken oder Fräsen keine Verunreinigungen bzw. keine Kontamination mit

chemischen Verbindungen oder Abriebpartikeln zur Folge hat. Aber auch völlig andere Anwendungsfelder sind denkbar, wie personalisierte Kunstgegenstände oder Türbeschriftungen in Büros. Evonik treibt die weitere Entwicklung nun gemeinsam mit Kunden voran.

2D-Laserbeschriftung transparenter Kunststoffe

2D-Lasermarkierungen von nanomodifiziertem Polyamid oder PMMA ergeben einen hohen Kontrast und eine exzellente Konturschärfe.

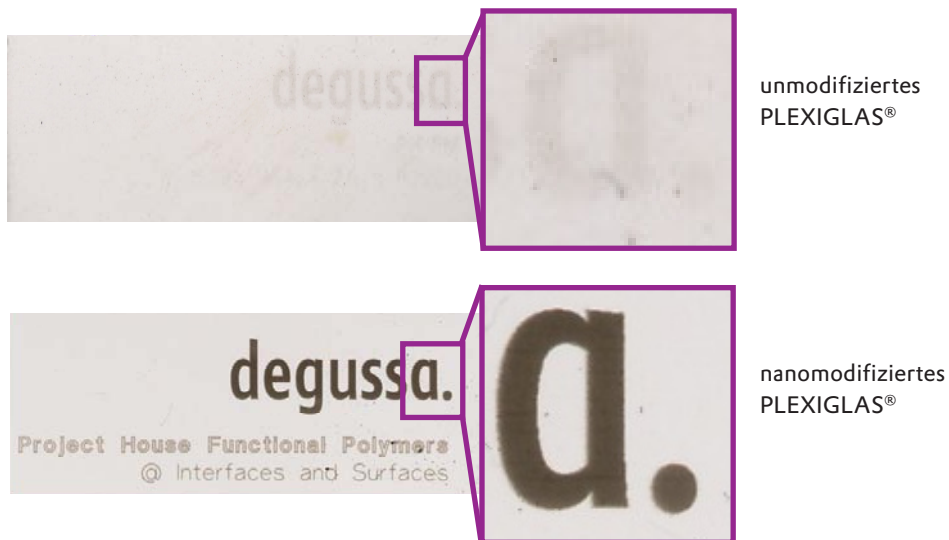


Abb. 23: 2D-Lasermarkierung von PLEXIGLAS® (PMMA)

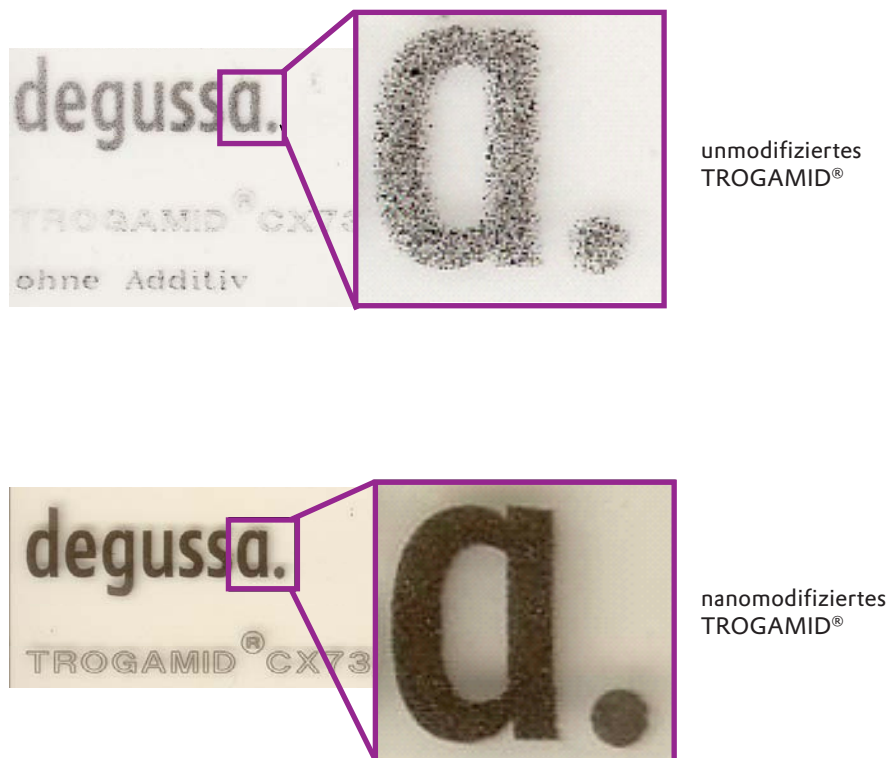


Abb. 24: 2D-Lasermarkierung von TROGAMID® (PA)

3D-Innengravieren transparenter Kunststoffe

Seit einigen Jahren werden Laser auch für die Glasinnengravur eingesetzt, um 2- oder 3-dimensionale Motive (z.B. aus CAD-Anwendungen), Logos, Muster und Fotos in Glas zu gravieren. Vor allem verblüfft die Möglichkeit, mit sogenannten 3D-Facescannern Gesichter aufzunehmen und dann detailgetreu und realistisch als 3D-Motiv in Glasquader einzugravieren. Diese Technik funktioniert dadurch, dass ein 3D-Scanner in Sekundenschnelle das Gesicht einer Person erfasst. Mit einer speziellen Software wird dieser „Facescan“ für den Laserprozess vorbereitet, indem die Aufnahme in eine Punktwolke umgewandelt wird. Der Laser, in der Regel ein frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser (532nm), brennt in wenigen Minuten hunderttausende Pixel in das Glas und bildet damit die Oberfläche und die Textur des Gesichts, die Haare, Augen usw. nach. Für eine hochaufgelöste 3D-Darstellung ist optimales Zusammenspiel zwischen Software, Lasereinheit (Hardware) und Material erforderlich.

In handelsübliches Acrylglas können zwar 3D-Motive laserinnengraviert werden, jedoch sind Auflösung und Brillanz deutlich schlechter als in Silikatglas. Die geringe Qualität der Innengravur hat den Einsatz von Acrylglas zum Laserinnengravieren bisher verhindert. Evonik ist es nun gelungen, eine spezielle Acrylglas-Sorte zu entwickeln, in die - ähnlich wie in Silikatglas - 3D-Motive mit hoher Qualität laserinnengraviert werden können (Abb. 25). Dies wird durch Nanomodifizierung der hochtransparenten Kunststoffe erreicht. Die für die Nanomodifizierung erforderliche exzellente Dispergierung ist die Grundvoraussetzung, um die hohe Transparenz des Kunststoffs zu erhalten und um ein Bild mit hoher Auflösung und Brillanz zu erzeugen.

Prinzipiell bietet Acrylglas, z.B. PLEXIGLAS® von Evonik, gegenüber Silikatglas viele Vorteile wie deutlich geringeres spezifisches Gewicht, leichte Verformbarkeit und mechanische Bearbeitbarkeit (höhere Designfreiheit) sowie höhere Bruchsicherheit. Von Silikatglas ist bekannt, dass es bei unsachgemäßer Handhabung oder zu langer Lagerung zu einer Vergrößerung der Mikrorisse kommen kann – bis hin zum Bruch. Dieser Effekt tritt bei Acrylglas nicht auf.

Darüber hinaus kann Acrylglas leicht eingefärbt werden. Dies ist bei Silikatglas nur mit hohem Aufwand möglich. Außerdem lässt es eine signifikant höhere Lasereindringtiefe (PMMA ca. 500 mm) zu, was die Innengravur großer Objekte erlaubt.

In nanomodifiziertem Acrylglas wird eine sehr hohe Auflösung erzielt. Während bei der Laserinnengravur in nicht modifiziertem Acrylglas optisch und mechanisch störende Mikrorisse entstehen, werden in dem nanomodifiziertem Acrylglas hingegen definierte „Punkte“ erzeugt. In der Punktwolke (dot cloud) in Abb. 26 wird dies anschaulich dargestellt.

Wenn dies auf den ersten Blick auch wie Spielerei aussieht, so steckt in dieser Technik doch das Potenzial, die Ästhetik von transparenten Kunststoffen zu erhöhen, z. B. für architektonische Anwendungen. Die Möglichkeit, hoch auflösende 3D-Motive in Bauteile zu gravieren, besteht nicht nur bei Acrylglas, sondern kann auch bei anderen hochtransparenten Werkstoffen wie TROGAMID® (teilkristallines Polyamid) genutzt werden.

Grundlagen des 3D-Laser-Innengravierens

Herstellung einer dreidimensionalen Abbildung mit einem CAD-System oder durch Stereofotografie.



Abb. 25: 3D-Lasermarkierung von PLEXIGLAS® (PMMA)

Das Objekt aus der CAD-Datei muss in eine sogenannte Punktwolke (dot cloud) umgewandelt werden. Jeder Punkt wird dabei mit seinen x-, y- und z-Richtungskoordinaten berechnet und gespeichert. Der 3D-Laser kann, im Gegensatz zum normalen Schreiblasers, nur einzelne Punkte lasern, dies aber mit einer sehr hohen Geschwindigkeit.

Jeder einzelne Punkt wird dann über einen hochfokussierten, frequenzverdoppelten Nd:YAG-Laser (532 nm) in das transparente Polymer eingraviert. Beim PMMA werden in diesem Prozess winzigste Bläschen (bubbles) erzeugt, während es beim PA zu einer Karbonisierung (Schwärzung) des Kunststoffes kommt.



Abb. 26: Punktwolke (dot cloud)

3D-Laser zum Innengravieren

Der 3D-Laser zum Innengravieren bietet hohe Flexibilität bei der Gestaltung im dreidimensionalen Raum. Der Laserstrahl wird von zwei computergesteuerten Galvanometerspiegeln in x-, y-, und z-Richtung abgelenkt und mit einer (vorzugsweise Planfeld-) Linse auf das zu beschriftende Teil fokussiert. Ein Feld von etwa 10 cm x 10 cm x 20 cm kann an jedem beliebigen Punkt beschriftet werden. Größere Objekte müssen geteilt („tiling“) und in mehreren Schritten wie ein Puzzle zusammengesetzt werden.

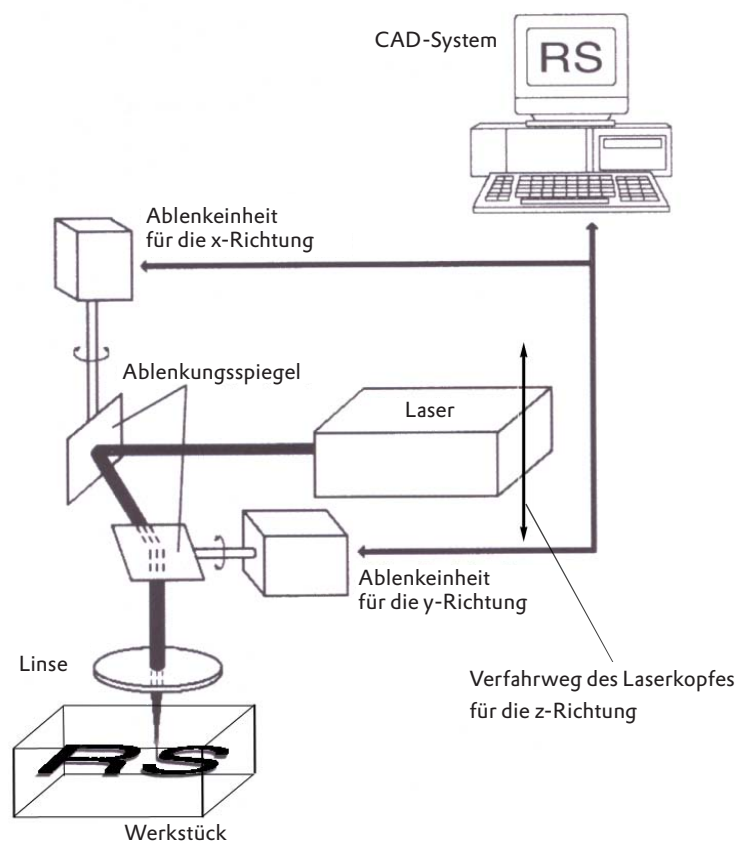


Abb. 27:
3D-Laser zum Innengravieren

PLEXIGLAS® ohne Additiv

PLEXIGLAS® mit Laseradditiv

PLEXIGLAS® ohne Additiv

PLEXIGLAS® mit Laseradditiv

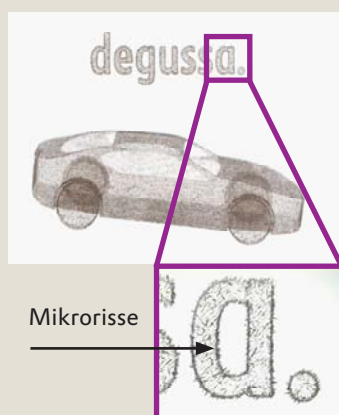
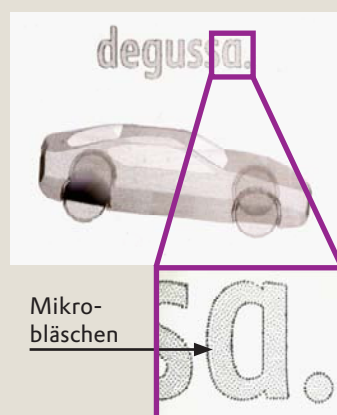


Abb. 28: 3D-Lasermarkierung von PLEXIGLAS® (PMMA)

Einsatzbereiche lasersensitiver, transparenter, farbloser Kunststoffe

Die Tiefenlasierung in (hoch-)transparenten, farblosen und lasersensitiven Kunststoffen ergibt eine fälschungssichere Kennzeichnung mit, z.B. Seriennummern. Dabei können bei PMMA Eindringtiefen bis zu 500 µm erreicht werden. Selbst tiefengelaserte Barcodes und DataMatrix-Codes können problemlos ausgelesen werden. Hier ist nur noch die Eindringtiefe des Lesegerätes entscheidend.

Mit dem nanomodifizierten PLEXIGLAS® existiert nun auch eine gute Alternative zum beschrifteten und innengravierten Glas.

Vorteile lasersensitiver, transparenter, farbloser Kunststoffe

Um farblose, (hoch-)transparente Polymere laserbeschriftbar und laserinnengravierbar zu machen, benötigt man nanoskalige Laserabsorber. Dabei ist eine sehr enge Partikelgrößenverteilung und sehr gute homogene Verteilung der Nanoabsorber erforderlich. Nur so können exzellente hochauflösende Beschriftungen mit hohem Kontrast erzielt werden. Entsprechend der geforderten Laserwellenlänge können diese Nanoabsorber daran angepasst werden. Für die Tiefenlasierung ist auf der Eindringseite des Laserstrahls außerdem eine absolut plane Oberfläche des Objektes notwendig. Bei einer z.B. schon im makroskopischen Bereich wellenförmigen Oberfläche erhält man auch einen deutlich sichtbaren wellenförmigen Text.



Abb. 29:
3D-Laser: CERION C1 jet,
(Fa. CERION)

Vorteile der Laserbeschriftung

- **schnell**

Es sind Schreibgeschwindigkeiten bis zu 2000 mm/s oder 200 Zeichen/s möglich.

- **flexibel**

Die Layouts können mit Standard-CAD-Programmen erstellt und gespeichert werden, die sich in beliebiger Reihenfolge aufrufen lassen und so einen schnellen Wechsel ermöglichen.

- **präzise**

Auch kleinste Schriftzeichen oder Symbole in sehr geringen Strichdicken können exakt positioniert werden und sind deutlich lesbar.

- **sauber**

Es werden keinerlei Zusatzstoffe, insbesondere Lösungsmittel, benötigt.

- **berührungslos**

Die Beschriftung lässt sich nicht nur auf schwer zugänglichen, glatten, unebenen oder strukturierten Oberflächen anbringen, sondern auch durch transparente Abdeckungen hindurch.

- **abriebfest**

Die Eindringtiefe beträgt bis zu 200 µm, so dass die Beschriftung zugleich verschleißfest und fälschungssicher ist. Dieser Aspekt ist insbesondere hinsichtlich der Produkthaftung von Bedeutung.

- **transparent**

Um farblose, (hoch-)transparente Polymere laser-
verarbeitbar zu machen benötigt man nanoskalige Laserabsorber. Dabei ist eine sehr enge Partikelgrößenverteilung der Nanoabsorber erforderlich. Nur so können exzellente Schweißnahtqualitäten und eine hochauflösende Beschriftung mit hohem Kontrast erzielt werden. Entsprechend der geforderten Laserwellenlänge können diese Nanoabsorber daran angepasst werden.

- **resistent gegen Chemikalien**

Die Beschriftung ist unempfindlich gegenüber Reinigungsmitteln, Kosmetika oder auch Handschweiß, mit denen die Beschriftung in Berührung kommt.

- **keine Vorbehandlung**

Da es keine Probleme hinsichtlich der Haftung gibt, können die Oberflächen ohne spezielle Vorbehandlung direkt beschriftet werden.

- **niedrige Betriebskosten**

Insbesondere bei hohen Stückzahlen ist das Verfahren sehr wirtschaftlich: Es sind keine Zusatzstoffe erforderlich, kein Reinigungs- und Entsorgungsaufwand von Farbmitteln oder Chemikalien, keine Personalkosten durch Integration in automatische Fertigungsabläufe und keine Lagerhaltung von Stempeln, Masken etc..

- **Qualität**

Das Verfahren zeichnet sich durch höchste Reproduzierbarkeit aus.

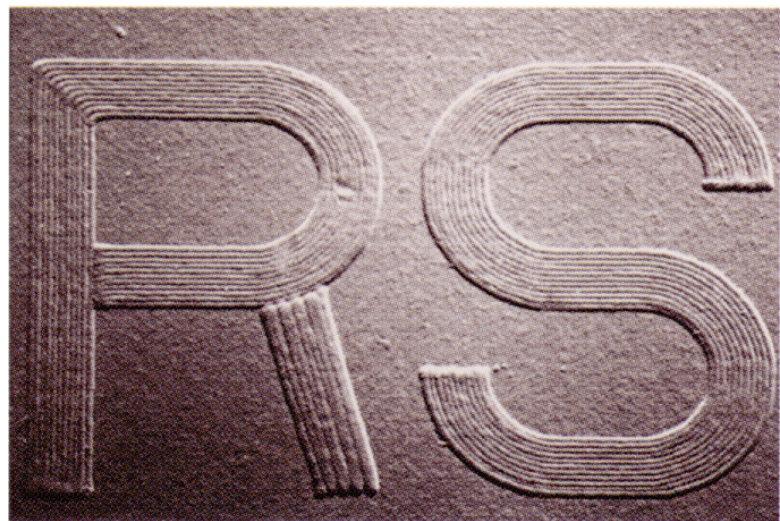


Abb. 30: REM-Aufnahme Linienstruktur

Laserschweißen von Kunststoffen

Das Laserstrahlkunststoffschweißen ist das Verbinden von thermoplastischen Kunststoffen unter Anwendung von Wärme und Druck. Die Verbindungsflächen müssen sich dabei im thermoplastischen Zustandsbereich befinden. Welche Kunststoffe sich hier mit oder ohne Zusatzadditiv Laserschweißen lassen, zeigt die nachfolgende Tabelle:

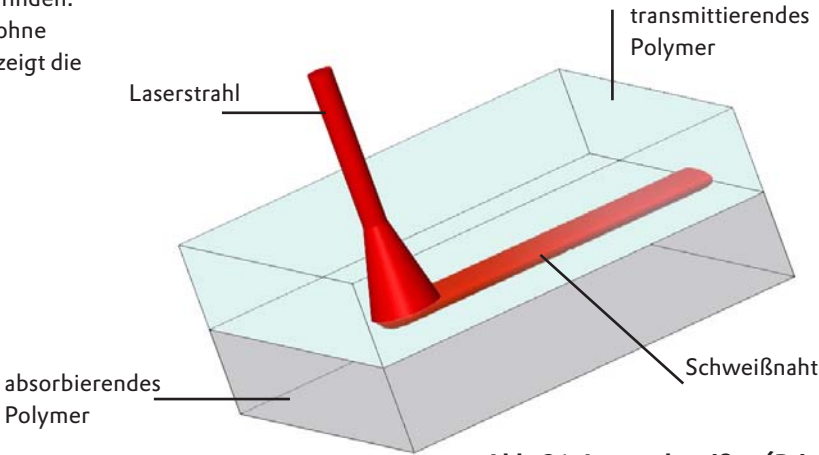


Abb. 31: Laserschweißen (Prinzipbild)

gute Schweißverbindung
befriedigende Schweißverbindung
schlechte Schweißverbindung
keine Schweißverbindung
keine Untersuchung vorhanden

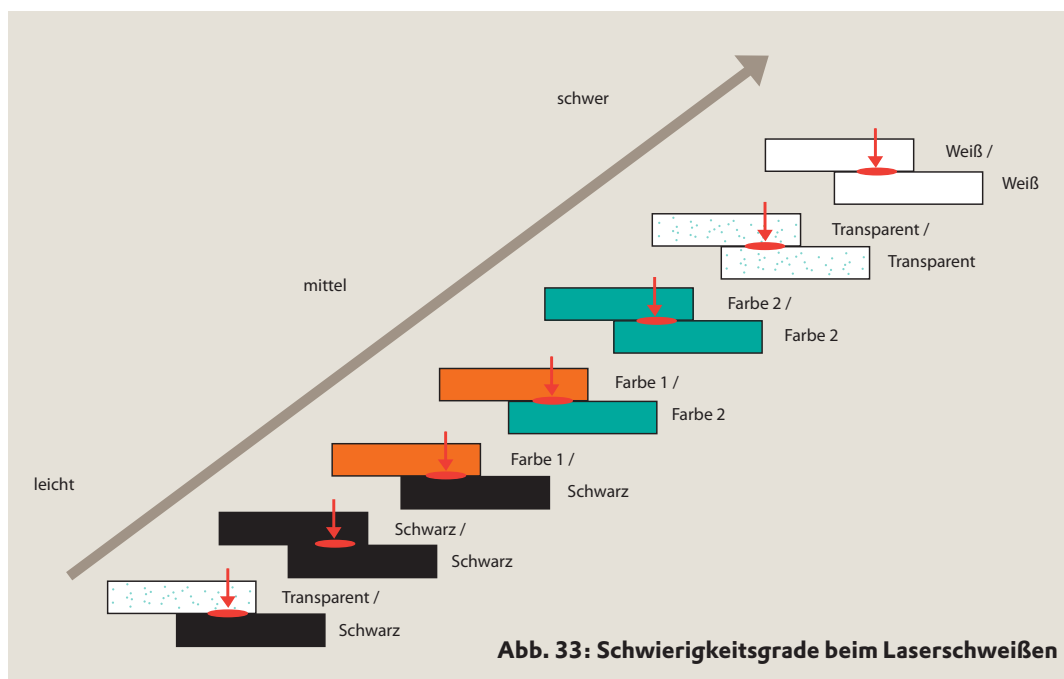
<div>transmissiv</div> <div>absorbierend</div>	ABS	ABS/PA	ASA	COC	MABS	PA12	PA612	PA6	PA 6-3-T	PA PACM12	PA66	PBT	PBT/ASA	PC	PE-HD	PE-LD	PEEK	PES	PMMA	POM	PP	PPS	PPSU	PS	PSU	PTFE	SAN	TPE
ABS																												
ABS/PA																												
ASA																												
COC																												
MABS																												
PA12																												
PA 612																												
PA6																												
PA 6-3-T																												
PA PACM12																												
PA66																												
PBT																												
PBT/ASA																												
PC																												
PE-HD																												
PE-LD																												
PEEK																												
PES																												
PMMA																												
POM																												
PP																												
PPS																												
PPSU																												
PS																												
PSU																												
PTFE																												
SAN																												
TPE																												

Die Angaben in der Tabelle können variieren, in Abhängigkeit von der Laserwellenlänge.

Abb. 32: Schweißmatrix

Das Laserstrahlkunststoffschweißen kann nur mit schmelzbaren Polymeren durchgeführt werden. Dazu lassen sich i.d.R. alle amorphen und teilkristallinen Thermoplaste, aber auch thermoplastische Elastomere (TPU) verwenden. Elastomere und Duroplaste sind zum Laserstrahlschweißen dagegen nicht geeignet. Die Schmelztemperaturbereiche (Abb. 9) der zu verbindenden Kunststoffteile sollten sich überlappen und die Schmelzen verträglich miteinander sein. Der absorbierende Fügepartner sollte evtl. mit Zusatz eines Additivs die Laserenergie bei der verwendeten Wellenlänge in Wärme umsetzen können.

Schwierigkeitsgrade beim Laserschweißen



Der Aufwand beim Laserschweißen ist abhängig von der Lasertransparenz des oberen und Laserabsorption des unteren Fügepartners. Je besser der obere Fügepartner die Laserenergie hindurchlässt und je besser der untere Fügepartner diese Energie absorbiert, umso einfacher ist der Schweißvorgang.

In der Reihenfolge schwarz, farbig, transparent und weiß steigen die Verfahrensanforderungen. Applikationen mit schwarzem Fügepartner als Absorber sind in der Regel leicht zu realisieren oder bereits als

Standardlösung verfügbar. Für das Verschweißen farbiger Kunststoffe werden Pigmentkombinationen in lasertransparenter und laserabsorbierender Form benötigt. Das Verschweißen heller oder transparenter Kunststoffe gelingt durch den Einsatz laserabsorbierender Hochleistungsadditive.

Laserschweißvorgang

Das Laserschweißen von Kunststoffen findet meist im Überlappverfahren statt. Dazu werden zwei Fügepartner verwendet, deren Abstand zueinander $<100\text{ }\mu\text{m}$ (= überbrückter Spalt) betragen sollte. Das obere Fügeteil ist ein lasertransparenter (abhängig von der Laserwellenlänge) Thermoplast, d.h., er erhitzt sich beim Durchgang des Laserstrahls nicht, oder nur äußerst wenig. Um nun eine Schweißnaht herstellen zu können, muss der zweite Fügepartner die Laserstrahlung absorbieren. Dazu kann zum Beispiel ein lasertransparenter Thermoplast durch Dotierung mit Laseradditiven (z.B. Ruß (ca. 0,3 Gew.-%), Metalloxide oder spez. Farbstoffe) zum absorbierenden Medium werden oder es werden dunkle Thermoplaste verwendet. Nimmt dieser Stoff nun die Energie auf, so beginnt dieser zu schmelzen und gibt dabei seine Temperatur auch an den oberen Partner weiter.

Damit die Energie tatsächlich an den Partner weitergegeben werden kann, sollte der überbrückte Spalt $<100\text{ }\mu\text{m}$ betragen. Dazu müssen beide Partner zusammengepresst werden, da sonst trotz des Energieeintrags eine sichere Verbindung (=Verschweißung) nicht gewährleistet werden kann. Der Druck zum Zusammenfügen der Kunststoffteile sollte dabei so dicht wie möglich an der Schweißstelle aufgebracht werden. Nur so kann es durch den von außen aufgetragenen Pressdruck zu einer Vermischung der

Schmelzen und damit zu einer Verschweißung der Kunststoffteile kommen.

Häufig verwendete Laser sind Diodenlaser, da die Strahlqualität für dieses Schweißverfahren meist nicht so hochwertig gewählt werden muss.

Der Laser durchstrahlt das obere Fügeteil und wird im unteren Fügepartner absorbiert (A). Dabei wird die Laserenergie in Wärme umgesetzt und es bildet sich eine Schmelze (B). Diese heizt nun auch das obere Fügeteil im Nahtbereich so weit auf, dass auch hier das Material schmilzt (C). Durch den äußeren Pressdruck auf die beiden Fügepartner kann die Schmelze nicht entweichen und es kommt zu einer Verschweißung der Teile (D).

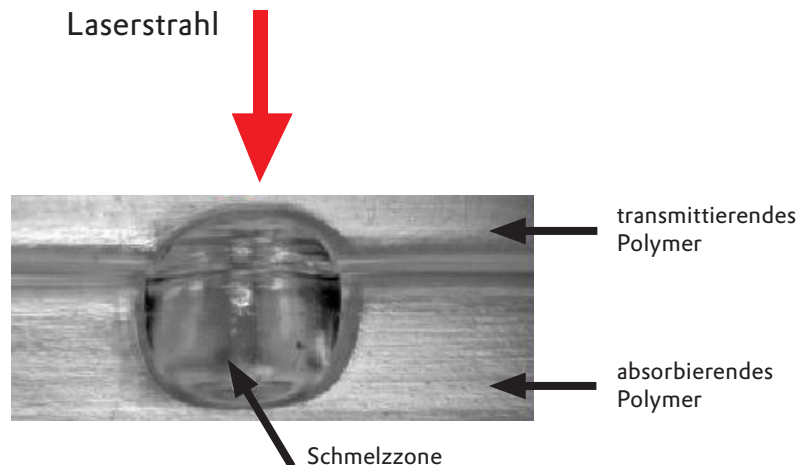


Abb. 34:
Laserdurchstrahlungsschweißen von Kunststoffen

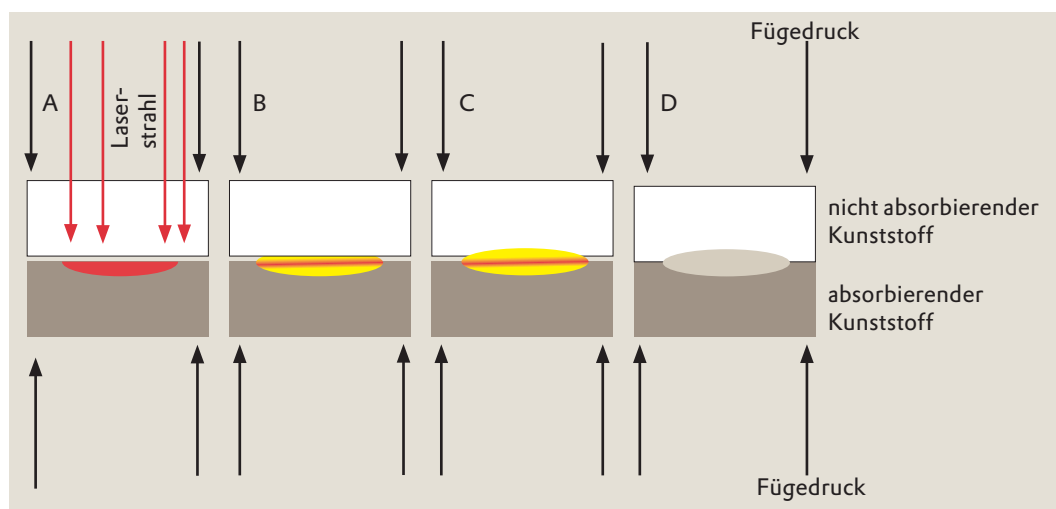


Abb. 35: Laserschweißen (Verfahrensablauf)

Schweißnahtqualität

Schweißnahtqualität beeinflussende Faktoren bei Thermoplasten

Für das Verständnis und die Weiterentwicklung eines Fertigungsverfahrens ist dessen strukturierte Analyse erforderlich. Jeder Fertigungsprozess besteht aus einer Vielzahl von Einflussgrößen, welche ursächliche Wirkung auf das Fertigungsergebnis haben. Das Bearbeitungsergebnis ist dabei die Schweißnaht zwischen zwei Thermoplasten. Die Einflussgrößen sind unterschiedlicher Natur und haben verschieden starke Auswirkungen auf das Bearbeitungsergebnis. Ein hilfreiches Werkzeug zur Strukturierung und Analyse eines komplexen Fertigungsprozesses hinsichtlich seiner Einflussgrößen ist das Ishikawa-Diagramm (s.a. Abb. 36).

Der Hauptstrahl des Diagramms stellt den Gesamtprozess des Laserstrahlschweißens von Thermoplasten dar, dessen Ergebnis die geforderte Fügequalität ist.

Der gesamte Fertigungsprozess wird durch bestimmte Faktoren beeinflusst, welche sich unter den Oberbegriffen:

- Werkzeug (Laserstrahl, Laserstrahlung),
- Maschine,
- Pre-/Post-Prozesse,
- Werkstück,
- Methode und
- Mensch

zusammenfassen lassen und sich teilweise wechselseitig beeinflussen. Diese Oberbegriffe können in weitere (funktionale) Unterbegriffe unterteilt werden. Ziel ist, die Struktur soweit aufzuschlüsseln, dass alle das Bearbeitungsergebnis direkt beeinflussenden Größen im Diagramm enthalten sind. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist das Ishikawa-Diagramm hier nur (grob) bis zur ersten Ebene der funktionalen Unterbegriffe dargestellt.

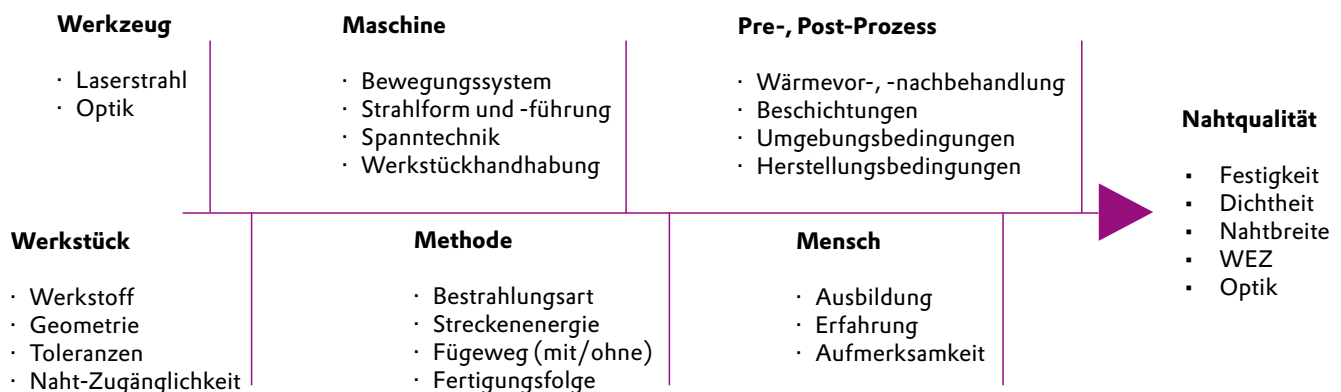


Abb. 36: Nahtqualität beeinflussende Faktoren beim Laserschweißen von Thermoplasten (Ishikawa-Diagramm)

Quelle: Russek, Dr. U.A.:SKZ Seminar, Würzburg, „Laserstrahlschweißen von Kunststoffen“, 2007

Laserschweißverfahren

Beim Laserdurchstrahlungsschweißen existieren vier verschiedene Verfahrensvarianten

- Konturschweißen,
- Simultanschweißen,
- Quasi-Simultanschweißen,
- Maskenschweißen

Konturschweißen

Bei diesem Verfahren kann mit einer geringen Laserleistung gearbeitet werden. Beim Konturschweißen wird die Fügeebene der Schweißteile vom Laserstrahl komplett abgefahren. Dabei ist eine Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl und dem Schweißteil notwendig. Dieses kann mit einem Roboter durch Verfahrbewegung des Lasers oder durch Verfahrbewegung des zu fügenden Schweißteils erfolgen. Ein Vorteil besteht darin, dass Bauteile mit nahezu beliebiger Fügenahtstruktur geschweißt werden können. Ebenso ist der Schweißprozess sehr flexibel und bei einem Schweißteilwechsel kann die Verfahrbewegung schnell an die neue Fügenahtgeometrie angepasst werden. Dieses Verfahren ist zurzeit am weitesten verbreitet.

Voraussichtlich wird zukünftig das Quasi-Simultanschweißen bei kleineren Bauteilen und das Konturschweißen bei größeren Bauteilen Anwendung finden.

Simultanschweißen

Beim Simultanschweißen wird meist ein Diodenlasersystem verwendet. Der Laserstrahl bestreicht gleichzeitig (simultan) die gesamte Fügeebene und kann diese dadurch mit einem oder mehreren Laserpulsen erwärmen. Es ist keine Relativbewegung zwischen Laseranlage und Schweißteil erforderlich!

Das Simultanschweißen ist bei hohen Stückzahlen durchaus vorteilhaft, da ziemlich kurze Schweißzeiten erzielt werden können. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine mechanischen Bauteile wie Roboterarme oder Scanner eingesetzt werden, welche gewartet werden müssten. Wie beim Quasi-Simultan-Schweißen ist es auch beim Simultanschweißen möglich, den Prozess über den Setzweg zu überwachen, allerdings ist die Anpassung der Anlage an das jeweilige Schweißteil nachteilig. Wegen der hohen Laserleistungen sind eventuell sogar mehrere Diodenlaser nötig. Zudem ist die Anlage nicht veränderbar, was zur Folge hat, dass bei leichter Schweißnahtgeometrieänderung oder bei Bauteilwechsel der verwendete Laser nicht mehr eingesetzt werden kann. Deshalb werden aus Kostengründen nur Bauteile mit einfachen Fügenahtgeometrien mit dem Simultanschweißverfahren geschweißt.

Abb. 37:
Konturschweißen

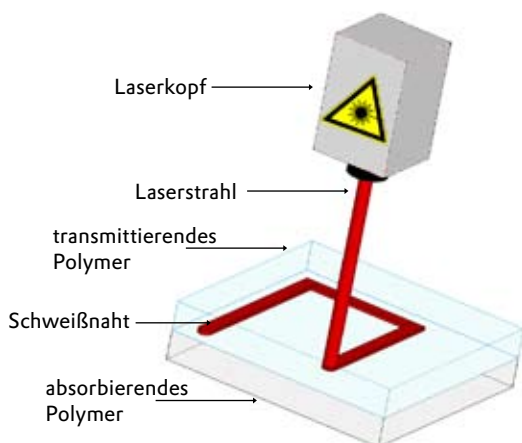
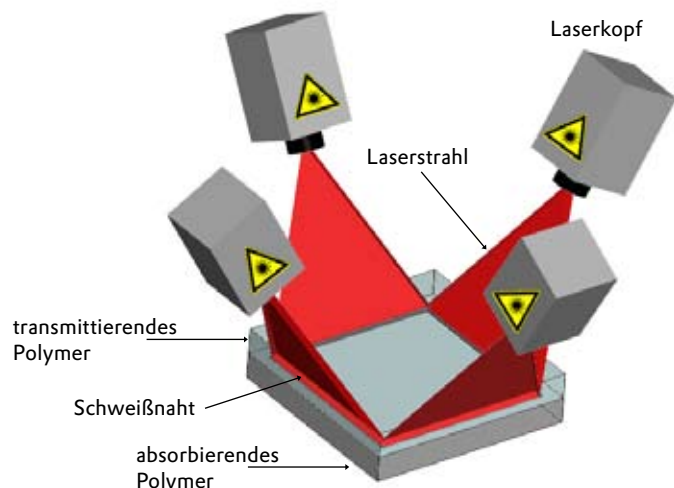


Abb. 38:
Simultanschweißen

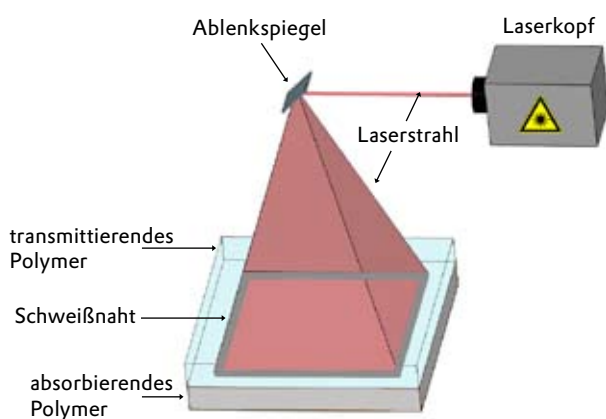


Quasi-Simultanschweißen

Beim Quasi-Simultanschweißen wird der Laserstrahl mit Hilfe von Scannerspiegeln entlang der Füge-naht geführt. Dabei bewegen sich weder der Laser noch die Fügepartner, vielmehr wird der Laserstrahl über bewegliche Spiegel abgelenkt. Durch die hohe Geschwindigkeit kann die Fügefläche mehrmals innerhalb einer Sekunde abgefahren werden, wodurch sie insgesamt trotz punktförmiger Energiequelle fast zeitgleich (quasi simultan) erwärmt und plastifiziert wird. Beide Fügepartner werden dabei unter Druck gehalten. Die Vorteile dieses Verfahrens sind, dass es flexibel einsetzbar ist und auch Bauteile mit dreidi-mensionaler Füge-naht geschweißt werden können. Beim 3D-Schweißen ist jedoch einzuschränken, dass dieses nur in einem engen Rahmen möglich ist. Für diesen Fall muss dann eine Planfeldlinse eingesetzt werden.

Ein weiterer Vorteil des Quasi-Simultanschweißens liegt darin begründet, das höhere Bahngeschwin-digkeiten als beim Konturschweißen möglich sind. Dazu ist aber auch eine höhere Laserleistung als beim Konturschweißverfahren erforderlich, um dieselbe Streckenenergie einzubringen. Negativ anzuführen ist, dass der Arbeitsraum durch den Scanner begrenzt ist, was die maximal mögliche Teilegeometrie beschränkt. Eingesetzt wird das Quasi-Simultan-Schweißverfahren hauptsächlich, wenn zweidimensionale Nahtgeometrien geschweißt werden. Voraussichtlich wird zukünftig das Quasi-Simultanschweißen bei kleineren Bauteilen und das Konturschweißen bei größeren Bauteilen Anwen-dung finden.

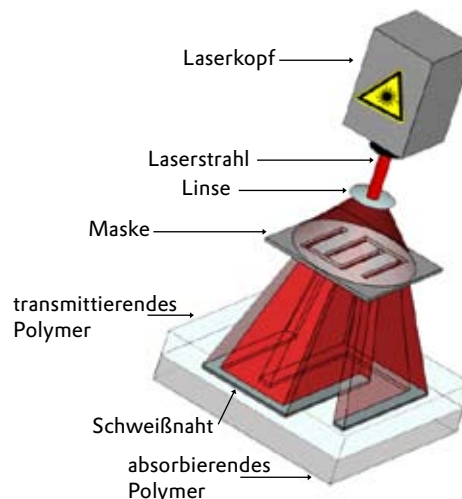
Abb. 39:
Quasi-Simultanschweißen



Maskenschweißen

Bei diesem Verfahren befindet sich zwischen dem Laser und den zu fügenden Teilen eine metallische Maske. Ein Laserstrahl wird quer über die Maske bewegt. Überall dort, wo eine Schweißung erreicht werden soll, besitzt die Maske Aussparungen. Bereiche neben der Fügefläche werden durch die Maske abgedeckt. Durch das Maskenschweißen ist man somit in der Lage, sehr feine und auch dicht neben-einander liegende Schweißnähte ($< 100 \mu\text{m}$) auf Bauteilen zu realisieren. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Maskenschweißens ist die Möglichkeit, durch einfaches Austauschen der Masken vielfäl-tige Schweißnahtstrukturen auch an einem Bauteil herzustellen. Darin liegt aber sowohl der Vorteil als auch der Nachteil, denn es wird immer eine Maske benötigt. Änderungen in der Schweißnahtgeometrie erfordern hier die Herstellung einer neuen Maske, was eine geringe Flexibilität zur Folge hat. Einsatzge-biete des Maskenschweißens sind z.B. die Mikro-systemtechnik, die Elektrotechnik, die Sensorik oder auch die Medizintechnik.

Abb. 40:
Maskenschweißen



Einsatzbereiche

Es können praktisch alle klassischen Verbindungstechniken für Kunststoffe wie Kleben, Vergusstechnik, Ultraschall-, Vibrations-, Spiegel- und Heißgasschweißen ersetzt werden.

Die Miniaturisierung von Bauteilen und ihre immer komplexere Geometrie erfordern Schweißnähte, die in ihrer Feinheit mit herkömmlichen Schweißverfahren nur mit hohem Aufwand oder überhaupt nicht mehr zu erreichen sind. Hier bietet das Laserschweißverfahren Möglichkeiten auch dreidimensionale Verschweißungen in einem Arbeitsgang durchzuführen. Bei der Herstellung von Sensoren für die Medizintechnik können mit dem Laser feinste Schweißnähte auf sehr engem Raum erzeugt werden.

Der Einsatzbereich der Kunststoffe ist stark von deren Materialeigenschaften und ihrer Kompatibilität mit den in verschiedenen Systemen eingesetzten Laserwellenlängen abhängig. Nicht alle der gängigen Thermoplaste absorbieren die Laserstrahlen gleich gut. Mit den speziellen, von Evonik entwickelten und patentierten Additiven können unsere Formmassen für die verschiedensten Anwendungszwecke ausgerüstet werden.

Diese Formmassenkomponenten sorgen selbst bei hochtransparenten und farblosen Kunststoffen für eine qualitativ hochwertige Laserschweißbarkeit (transparent/transparent). Darüber hinaus bietet das Geschäftsgebiet High Performance Polymers verschiedene eingefärbte Produkte für nichttransparente Laserverschweißungen an.

Vorteile

Vorteile beim Einsatz nanoskaliger Laserabsorber

Farblose, (hoch-)transparente Polymere werden laserprozessierbar. Es werden exzellente Schweißnahtqualitäten durch die sehr enge Partikelgrößenverteilung der Nanoabsorber erzielt. Der Nanoabsorber kann an die Laserwellenlänge angepasst werden.

Vorteile gegenüber Ultraschall-, Vibrations-, Spiegel- und Heißgasschweißen, Vergusstechnik und Kleben

Es sind keine Zusatzwerkstoffe wie Klebemittel erforderlich. Die Verarbeitung erfolgt absolut partikelfrei. Es entstehen keine störenden Mikropartikel, Klebereste oder Rauigkeiten. Die thermischen und mechanischen Belastungen der Bauteile sind deutlich geringer. Trotz der überwiegend kürzeren Taktzeiten sind die Langzeitstabilität der Fügeverbindungen und deren Qualität besser. Hinzu kommen bessere Überwachungsmöglichkeiten. Wichtig sind hier auch die geringeren Anlagen- und Werkzeugkosten.

Laserstrukturierung

Die zunehmende Miniaturisierung von Bauteilen erfordert immer feinere und präzisere Werkzeuge zur Erzeugung feiner Oberflächenstrukturen. Der Laser, mit Auflösungen $<1/10$ mm, ist für solche Aufgaben das ideale Werkzeug. Er eignet sich hervorragend als Werkzeug zur Erzeugung feinsten Strukturen. Sehr präzise und selektiv kann dabei das Material von Kunststoffoberflächen abgetragen werden.

Dreidimensionale spritzgegossene Schaltungsträger, 3D-MIDs (= Moulded Interconnect Devices), eröffnen im wahrsten Sinn des Worts eine neue Dimension gegenüber herkömmlichen zweidimensionalen Leiterplatten, denn sie bieten ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit. Ein neues lasergestütztes Strukturierungsverfahren (LDS-Verfahren der Fa.

LPKF) für 3D-MIDs trägt zudem zu einer deutlichen Vereinfachung des Herstellprozesses bei. Auf diese Weise können beispielsweise Antennenstrukturen direkt und kostengünstig in die Gehäuse von Mobiltelefonen integriert werden. Überdies lassen sich damit anspruchsvolle Mechatroniksysteme für Anwendungen im Automobilbau und in der Medizintechnik verwirklichen, die mechanische und elektrische Eigenschaften integrieren.

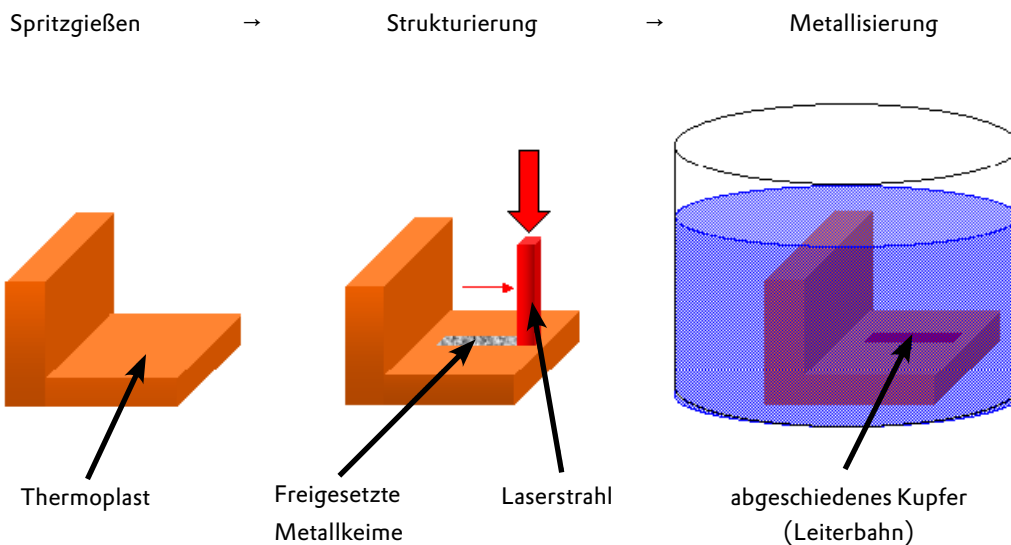


Abb. 41: LPKF-LDS-Verfahren

Lasersintern

Das Selektive Lasersintern (SLS) ist ein Rapid Prototyping Verfahren. Auf den Grundlagen von CAD-Datensätzen werden komplexe Bauteile durch einen Schichtenaufbau generiert. Somit ist für einen Teilebau kein formgebendes Werkzeug mehr notwendig. Das Prinzip des SLS basiert auf dem schichtweisen Aufbau einer Struktur durch Auftragen eines Polyamid 12-Pulvers und anschließender selektiver Erwärmung durch einen Laserstrahl, bevorzugt CO₂-Laser. Im Allgemeinen lässt sich das Verfahren wie folgt charakterisieren:

- Vorlage eines dreidimensionalen Modells in Form von CAD-Datensätzen
- Kein Einsatz von Formwerkzeugen
- Verarbeitung von pulverförmigem Material
- Generativer Aufbau. Formgebung geschieht nicht durch Materialabtrag, sondern durch Materialauftrag
- Fertigung durch Schichtenaufbau (Layertechnik)
- Beliebige Geometrie
- Keine Stützkonstruktion nötig



Abb. 42:
Ansaugkrümmer für LOTUS-Rennsportwagen



Anforderungen an laserbearbeitbare Formmassen

Anwendungsprofile Laserbeschriften

Funktionsbeschriftungen

- Computertastaturen
sehr gute Lesbarkeit; häufige
Betätigungen verlangen hohe
Abriebbeständigkeit
- Barcodes auf Gehäuseteilen/
Elektroschaltern etc.
 - eindimensionaler Strichcode
 - zweidimensionaler Data-Matrix-
CodeKontrast und Konturenschärfe
sind für die sichere Übertragung
der verschlüsselten
Informationen wichtig!

Informationsbeschriftungen

- Name und Adresse von Hersteller/
Besitzer etc.
- Gerätetyp/Produktangaben
- Bedien-, Einstell-, Anschluss-, Sicher-
heits- oder Montagehinweise,
Prüfzeichen
- Art der Spannungsversorgung/
Anschlussleistung von
Elektrobauteilen oder -geräten
- Schaltbilder/Skalierungen/technische
Etiketten

Dekorationen

- Firmenlogo
- farbige Symbole und Muster mit
Transferfolie; teilweise auch direkt
möglich

Anwendungsprofile Laserschweißen

Medizientechnik

- Spritzen
- Schlauch-/Rohr-Verbindungen
- Arzneimittel-Verpackung
- Flüssigkeitsbeutel
- LeitungsfILTER
- Katheterspitzen
- Ballon-Katheter
- Sensoren

Elektrotechnik

- Miniatur-Relaisgehäuse
- Staub- und wasserdichte Gehäuse für
elektronische Bauträger

Anforderungen an laserver- arbeitbare Formmassen

Automobiltechnik

- Front-Scheinwerfergehäuse mit
Reflektor
- Heckleuchtengehäuse mit Reflektor/
Staub- und wasserdichte Gehäuse für
elektronische Bauträger
- Elektronischer Zündschlüssel
(Fernsteuerung)

Anwendungsprofile Laserstrukturieren

Elektronik

- Leiterbahnen für MID

Medizientechnik

- Mikrofeine Kanäle in Bio-Sensoren

Laseradditive

Additive für nichttransparente Formmassen

Neben hohem Kontrast sind ausreichende Verfärbungstiefe und eine möglichst glatte Oberfläche gefordert. Die Intensität der Farbumschlagreaktion wächst zwar mit dem Gehalt an lasersensiblen Pigment, jedoch sinkt gleichzeitig die Eindringtiefe der Laserstrahlung. Bei geringem Anteil ist die Eindringtiefe sehr hoch, der zu erwartende Kontrast aber zu gering.

- Der Kontrast steigt mit zunehmender Laserintensität.
- Die Verfärbungstiefe verringert sich mit zunehmender Laserintensität.
- Die Aufschäumhöhe (Maß für die Güte der Oberflächenbeschaffenheit) steigt mit zunehmender Intensität; gewünscht ist eine glatte Oberfläche.

Bei gleicher Schriftgüte schäumt die Oberfläche bei Verwendung des Additivs nicht so auf und ist deshalb abriebfester.

Zur Gewährleistung einer exzellenten Schrift und unter Berücksichtigung dieser Effekte haben wir ein Laseradditiv entwickelt, das die Einfärbung nicht beeinflusst.

Eine hohe Schweißnahtfestigkeit wird beim Laserschweißen gefordert. Diese sollte idealer Weise die Festigkeit der verschweißten Komponenten erreichen.

Damit eine gute Verschweißung erreicht werden kann, muß dem absorbierenden Fügepartner ein lasersensitives Additiv eincompoundiert werden. Klassischerweise wird dazu Ruß als Laseradditiv genommen. Wird aber gleiche Farbgebung für das obere und untere Fügeteil gefordert, können hier auf die Laserwellenlänge abgestimmte Farbpigmente oder Metalloxide zum Einsatz kommen.

Möchte man Kunststoffe an der Oberfläche laserstrukturieren, z.B. mit CO₂-Lasern, ist man nicht unbedingt auf den Einsatz von Additiven angewiesen. Zur Herstellung von dreidimensionalen Schaltträgern mit miniaturisierten Leiterbahnstrukturen, z.B. für den Einsatz von MID-Bauteilen, werden spezielle Formmassen benötigt. Das darin enthaltene Laseradditiv bietet nach der Laserstrukturierung die Möglichkeit der gezielten Aufbringung von Kupfer für die Leiterbahnen.

Additive für (hoch-)transparente, farblose Formmassen

Mit den speziellen, vom Geschäftsbereich Inorganic Materials von Evonik entwickelten und patentierten Additiven können unsere (hoch-)transparenten und farblosen Formmassen für die verschiedensten Anwendungszwecke ausgerüstet werden.

Das Laseradditiv hat dabei praktisch keinen Einfluss auf den Haze der verwendeten Kunststoffe. Deshalb sind diese Formmassen auch bestens für Tiefenlasierungen von Markierungen oder Lasern von 3D-CAD-Objekten geeignet.

Diese Laseradditive sorgen selbst bei farblosen, transparent-transparent Verbindungen für eine qualitativ hochwertige Laserverschweißbarkeit.

Laserbearbeitbare Formmassen

VESTODUR®

Formmasse	Farbe	Füllstoff	Zug-Modul	WFB	Brennbarkeit	CHARPY Schlagzähigkeit	Kontrast Schriftbild ¹⁾	Anmerkung
Norm:			ISO 527	ISO 75-1/2	UL 94	ISO 179/1eU	Hell/Dunkel	
Einheit:		%	MPa	(B)		23°C kJ/m²		
X7061	natur	0	2700	160	0.8 (HB)	130 C	K 3.3 D	PBT-LV
	weiß						K 4.3 D	
	elek. grau						K 3.2 D	
	gelb						K 3.6 D	
	grün						K 2.5 D	
	rot						K 2.0 D	
1003-FR3	natur	0	3100	185	0.8 (VO)	25 C	K 2.8 D	PBT-FR-LV
	weiß						K 3.5 D	
2002-FR3	natur	0	3100	180	0.8 (VO)	100 C	K 3.2 D	PBT-FR-MV
X7062	schwarz	0	2600	150	0.8 (HB)	130 C	K 8.5 H	PBT-MV
GF12-FR3	natur	12	6000	223	0.8 (VO)	30 C	K 3.2 D	PBT-GF12-FR-MV
	weiß						K 3.5 D	
G20-FR3	natur	20	8000	223	0.8 (VO)	35 C	K 3.2 D	PBT-GF20-FR-MV
	weiß						K 3.5 D	
RS1203	schwarz	20	7500	220	1.6 (HB)	60 C	K 8.0 H	PBT-GF20-MV
X7095	schwarz	20	7000	220	1.6 (HB)	30 C	K 8.0 H	schwindarm
GF30	schwarz	30	9500	220	0.8 (HB)	75 C	K 3.9 H	PBT-GF20-MV
X4877	schwarz	30	5200	195	1.6 (HB)	80 C	K 8.0 H	schwindarm
GF30-FR3	natur	30	11000	223	0.8 (VO)	55 C	K 3.2 D	PBT-GF30-MV
	weiß						K 3.5 D	PBT-GF30-MV-HI
X9402	schwarz	30	9000	210	1.6 (HB)	70 C	K 10 H	PBT-GF30-FR-MV
X7212	natur	45	15500	225	0.8 (VO)	45 C	K 3.0 D	PBT-GF30-MV
	weiß						K 3.3 D	
X9405	natur	30	9000	210	0.8 (VO)	80 C	K 3.2 H	schwindarm

VESTORAN®

Formmasse	Farbe	GF	Zug-Modul	WFB	Brennbarkeit	CHARPY Schlagzähigkeit	Kontrast Schriftbild ¹⁾	Anmerkung
Norm:			DIN ISO 527	ISO 75-1/2	UL	ISO 179/1eU	Hell/Dunkel	
Einheit:		%	MPa	(B)		23°C kJ/m²		
1900	natur	0	2000	190	1.6 (HB)	200 P	K 2.1 D	mPPE
	schwarz						K 2.2 H	
1900-GF20	natur	20	5600	191	1.6 (HB)	50 C	K 2.9 D	mPPE-GF20
	schwarz						K 1.5 H	
X7342	natur	20	5700	170	1.6 (HB)	45 C	K 3.0 D	mPPE-GF20

TROGAMID®

Formmasse	Farbe	GF	Zug-Modul	WFB	Brennbarkeit	CHARPY Schlagzähigkeit ISO 179/1eU 23°C kJ/m²	Kontrast Schriftbild ¹⁾ Hell/Dunkel	Anmerkung
Norm:			DIN ISO 527	ISO 75-1/2	UL			
Einheit:		%	MPa	(B)				
T5000	transparent	0	2800	180	0.8 (V2)	N	K 23 H	PA 6-3-T, MV
TX7389	schwarz	0	2700	140	0.8 (V2)	N	K 23 H	PA 6-3-T, LV
CX7323	transparent	0	1400	130	0.8/1.6 (HB)	N	D	PA PACM 12
RS6047	transparent	0	1400	130	0.8/1.6 (HB)	N	D	PA PACM 12, ITO

VESTAMID®

Formmasse	Farbe	GF	Zug-Modul	WFB	Brennbarkeit	CHARPY Schlagzähigkeit ISO 179/1eU 23°C kJ/m²	Kontrast Schriftbild ¹⁾ Hell/Dunkel	Anmerkung
Norm:			DIN ISO 527	ISO 75-1/2	UL			
Einheit:		%	MPa	(B)				
L2123	schwarz	0	370	80	1,6mm (HB)	N	K 7.2 H	PA12-P, HV, HI
L2124	schwarz	0	400	90	1,6mm (HB)	N	K 9.5 H	PA12-P, HV
L2140	schwarz	0	1450	110	1,6mm (HB)	N	K 9.7 H	PA12, HV
L-GF30	schwarz	30	6500	175	1,6mm (HB)	85 C	K 10 H	PA12-GF30, MV
L1670	orange	0	1400	120	1,6mm (HB)	N	K 3.4 D	PA12, LV

VESTAKEEP®

Formmasse	Farbe	Füllstoff	Zug-Modul	WFB	Brennbarkeit	CHARPY Schlagzähigkeit ISO 179/1eU 23°C kJ/m²	Schmelzbe- reich (DSC, 2. Aufheizen)	Anmerkung
Norm:		%	DIN ISO 527	ISO 75-1/2	UL			
Einheit:			MPa	(B)				
4000G	natur		3500	205	1,6 (VO)	N	ca. 335	PEEK
4000 GF30	natur	30	11000	>240	1,6 (VO)	70 C	ca. 335	PEEK-GF30
4000 CF30	schwarz	30	23000	>240	1,6 (VO)	60 C	ca. 335	PEEK-CF30
4000 FC30	schwarz	30	11500	>240	1,6 (VO)	45 C	ca. 335	PEEK-FC30
2000 G	natur		3700	205	1,6 (VO)	N	ca. 340	PEEK
3001 G	natur		3600	205	1,6 (VO)	N	ca. 340	PEEK
2000 GF30	natur	30	11000	>240	1,6 (VO)	55 C	ca. 340	PEEK-GF30
2000 CF30	schwarz	30	23000	>240	1,6 (VO)	63 C	ca. 340	PEEK-CF30
2000FC30	schwarz	30	11500	>240	1,6 (VO)	40 C	ca. 340	PEEK-FC30

Laserbearbeitbare Halbzeuge

EUROPLEX®

Formmasse Norm: Einheit:	Farbe	Dichte ISO 1183 %	Zug-Modul ISO 527 MPa	Vicat-Erweichungs- temperatur ISO 306/850 °C	Izod-Kerbschlagzähigkeit (Probendicke: 3,0 mm) ISO 180/1A	Anmerkung
EUROPLEX PPSU	transparent (natur)	1,29	2350	222	50-60	PPSU

PLEXIGLAS®

Formmasse Norm: Einheit:	Farbe	GF %	Zug-Modul DIN ISO 527 MPa	Brennbarkeit UL	CHARPY Schlagzähigkeit ISO 179/1eU 23°C kJ/m ²	Anmerkung
GS 233; 222; 209	transparent		3300	B2	---	PMMA
GS 0Z01	transparent		3300	B2	---	PMMA+ITO
XT 20070; 29070	transparent		3300	B2	---	PMMA

- 1) = erzeugt mit Nd:YAG-Laser (1064 nm)
 2) = Produkt mit hoher Vergleichszahl der Kriechwegbildung

WFB	=	Formbeständigkeit in der Wärme, Methode B, 0,45 MPa	HI	=	schlagzähmodifiziert
K	=	Kontrast, ist abhängig von der Leuchtdichte der Farbe	GF	=	Glasfasergehalt
LV	=	niedrigviskos	P	=	weichgemacht
MV	=	mittelviskos	CF	=	Kohlefasergehalt
HV	=	hochviskos	FC	=	Füllstoffgemisch aus gleichen Teilen Graphit, Kohlefasern und PTFE
FR	=	mit Brandschutzausrüstung			
N	=	kein Bruch			
P	=	Teilbruch			
C	=	Bruch			

Neben den aufgeführten Formmassen sind noch weitere Einstellungen, z.B. Formmassen der VESTAMID® E-Reihe (PEBA), in laserverarbeitbarer Ausrüstung lieferbar.

Umweltaspekte

Emissionen

Gasförmige Zersetzungsprodukte, die durch die Wärmeentwicklung bei der Laserverarbeitung unter Umständen in geringen Mengen entstehen können, werden in industriellen Laseranlagen durch Absaug-einrichtungen gezielt abgeleitet. Die hohe Effizienz, die durch die speziellen Additive in den laserverarbeitbaren Formmassen von Evonik erreicht wird, macht die Verfahren noch umweltfreundlicher. Der Vorteil liegt auf der Hand: Ist der Kontrastwert oder die Schmelze schon bei einer geringen Laserenergie erreicht, entstehen auch weniger Zersetzungsprodukte.

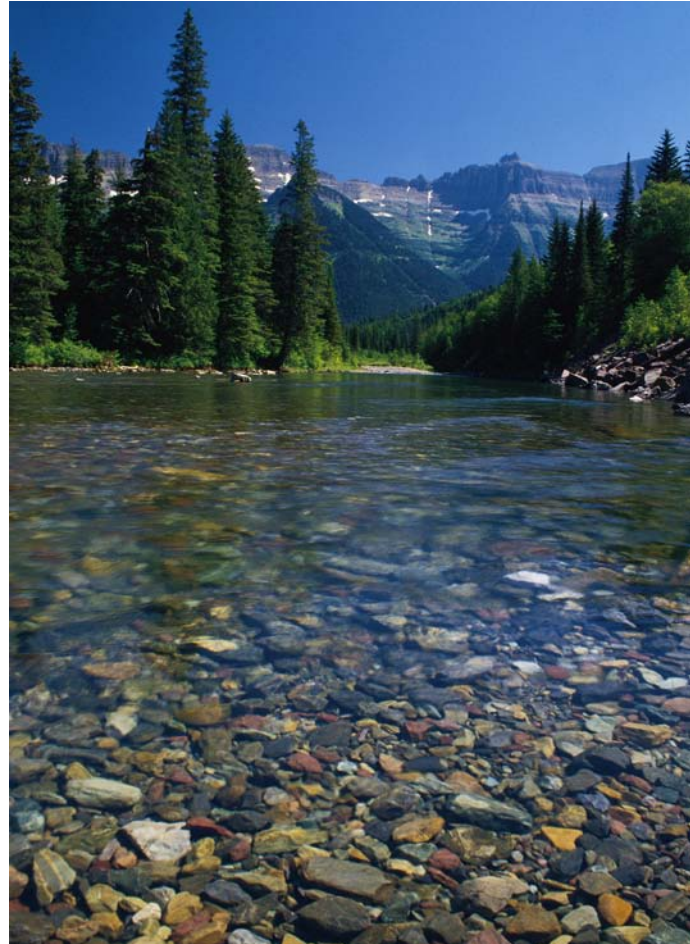
Recycling

Alle vorgestellten laserverarbeitbaren technischen Kunststoffe von Evonik sind problemlos recycelbar. Angüsse und unbeschriftete Formteile können als Mahlgut wieder im Primärprozess eingesetzt werden. Lediglich die Recyclate aus bereits beschrifteten Teilen sollten, wegen ihrer möglicherweise verfärbenden Eigenschaften, einer Sekundäranwendung zugeführt werden.

Qualität

Das Geschäftsgebiet High Performance Polymers von Evonik ist nach EN ISO 9001:2000 und ISO / TS 16949:2002 zertifiziert und somit als zuverlässiger Lieferant anerkannt.

Unsere Produkte setzen im Markt einen hohen Qualitätsstandard. Wir bieten Ihnen maßgeschneiderte Lösungen, die speziell auf Ihr Anforderungsprofil zugeschnitten sind.



Ausblick

Verschleißfestigkeit und Fälschungssicherheit sind Aspekte, die die weitere Verbreitung von Laserbeschriftungssystemen forcieren werden. Ob für die Produkthaftung oder die spätere Wiederaufbereitung von Fertigteilen - qualitätsrelevante oder produktionstechnische Daten, die mit Laser aufgebracht sind, lassen keine Zweifel über die Herkunft eines Fertigteils. Hersteller, Fertigungszeiten, Maschinenummern, Materialchargen - all diese Parameter lassen sich problemlos festhalten.

Bei sehr kleinen Teilegeometrien bietet sich der kompakte Data-Matrix-Code (DMC) an, der im Zuge der Miniaturisierung der Bauteile der Datencode der Zukunft sein wird. Er verschlüsselt die Daten in der Matrix sowohl horizontal als auch vertikal, so dass auch auf kleinsten Flächen Tausende von Informationen untergebracht werden können. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, neben public- auch private-mode einzufügen, die nur mit einer entsprechenden Zugangsberechtigung gelesen werden können.

Wendet man die Technologien der Laserbeschriftung und des Data-Matrix-Codes auf geeignete Materialien aus unserer Produktpalette an (siehe hierzu die Tabellen auf den Seiten 40 bis 42), ist eine Produktkennzeichnung mit extrem hoher Sicherheit möglich, bei der Substitutionsfehler praktisch nicht mehr auftreten.

Laserschweißen von Polymeren ist noch eine relativ junge Verbindungstechnik. Doch ist sie auf dem besten Weg in vielen Bereichen die herkömmlichen Verbindungsverfahren, wie Ultraschall-, Vibrations-,

Spiegel-, Heißgasschweißen, Vergusstechnik und Kleben zu verdrängen.

Im Vergleich zu den konventionellen Verfahren stehen beim Laserschweißen zurzeit noch deutlich höhere Investitionskosten entgegen.

In der Medizintechnik ist partikel- und emissionsfreies Arbeiten von großer Bedeutung. Medizinsensoren bestehen aus immer kleineren Komponenten mit komplexen Verbindungsgeometrien. Die Flexibilität und Schnelligkeit, mit der auch komplizierte Schweißnähte erzeugt werden können, und der hohe Qualitätsstandard sind die herausragenden Eigenschaften des Laserschweißverfahrens.

Dasselbe gilt auch für die Elektrotechnik. Kleinstgehäuse für vollständig gekapselte Miniaturrelais und elektronische Bauteile können nur noch mit dem Laser geschweißt werden. Nur dieser garantiert eine saubere Verarbeitung, ohne dass die Partikel die Mechanik oder Elektronik stören.

In der Automobilindustrie werden schon heute Scheinwerfer- und Heckleuchtengehäuse mittels Laser geschweißt. Die teilweise dreidimensionalen Geometrien lassen kaum noch eine andere Verbindungstechnik zu.

Mit dem zunehmenden Einsatz von Kunststoffen im Automobilbau sind auch neue, schnelle und flexible Verbindungstechniken gefragt, die auch höchsten Qualitätsansprüchen genügen. Keine andere Verbindungstechnik erfüllt diese Anforderungen so gut, wie derzeit das Laserschweißverfahren.

Laserklassen

Lasergeräte werden entsprechend der biologischen Wirkung von Laserstrahlung in Klassen eingeteilt. Maßgeblich für die nationalen und internationalen Laserklassen ist dabei die Definition von Grenzwerten, bei denen keine Schädigung zu erwarten ist. Neben der amerikanischen ANSI-Norm gibt die International Commission on Non-Ionizing-Radiation-Protection Grenzwerte im Spektralbereich zwischen 400 und 1400 nm heraus.

Primär wird dabei die Grenze bei der thermischen Leistung und der nichtionisierenden Strahlung gezogen. Durch die optischen Fokussiereigenschaften des Auges ist die Gefährlichkeit im sichtbaren Spektrum erhöht. Im nicht sichtbaren Bereich gibt es einen angrenzenden Bereich in dem das Auge noch immer gut fokussiert und transparent ist.

Klassifizierung nach DIN EN 60825-1

Entsprechend der Gefährlichkeit für den Menschen sind die Laser in Geräteklassen eingeteilt. Die Klassifizierung nach DIN EN 60825-1 erfolgt vom Hersteller. (Die alte Klassifizierung nach DIN VDI 0837 darf für neue Laser nicht mehr verwendet werden)



Laserklassen

Laserklasse	Beschreibung
1	Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich. CD-Player
1M	Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich, solange keine optischen Instrumente wie Lupen oder Ferngläser verwendet werden.
2	Die zugängliche Laserstrahlung liegt nur im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25 s) ungefährlich auch für das Auge. Eine längere Bestrahlung wird durch den natürlichen Lidschlussreflex verhindert. (*)
2M	Wie Klasse 2, solange keine optischen Instrumente wie Lupen oder Ferngläser verwendet werden. (*)
3R	Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge.
3B	Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge und in besonderen Fällen auch für die Haut.
4	Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- oder Explosionsgefahr verursachen.

Abb. 43: Laserklassen nach DIN EN 60825-1

*) Anmerkung zu Laserklasse 2 und 2M: Durch wissenschaftliche Untersuchungen (FH Köln) wurde festgestellt, dass der Lidschlussreflex (dieser tritt im Übrigen innerhalb 0,25 s auf; eine längere Bestrahlung schädigt das Auge) nur bei <20 % der Testpersonen gegeben war. Von dem Vorhandensein des Lidschlussreflexes zum Schutz der Augen darf somit in der Regel nicht ausgegangen werden. Daher sollte man, falls Laserstrahlung der Klasse 2 oder 2M ins Auge trifft, bewusst die Augen schließen oder sich sofort abwenden. Des weiteren ist zu beachten, dass der Lidschlussreflex nur bei sichtbarem Licht erfolgt. Laserstrahlung im Infrarotbereich z.B. führt nicht zu einem Lidschluss, da die Strahlung vom Auge nicht wahrgenommen wird. Deshalb ist ein besonders vorsichtiger Umgang mit unsichtbarer Laserstrahlung anzuraten.

Literatur- und Quellenangaben

Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): BAuA-Broschüre „Damit nichts ins Auge geht... - Schutz vor Laserstrahlung“, 1. Auflage. Dortmund, 2006.

BAuA-Forschungsbericht Fb 985 „Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes“

Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BGFE):

„Die neuen Laserklassen nach DIN EN 60825-1“

„Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B2/VBG 93)

Bayerisches Laserzentrum (BLZ), Erlangen

BASF: Technische Information für Experten 02/00 – Laserstrahlschweißen von Kunststoffen im Durchstrahlverfahren, Broschüre, 2000

Becker/Braun: Kunststoff Handbuch (1 Die Kunststoffe; 3/4 Polyamide), Hanser Verlag

Carl BAASEL Lasertechnik GmbH & Co. KG, Starnberg: Laser zum Beschriften, Schneiden, Schweißen, Mikrostrukturieren und Perforieren

CERION GmbH, Minden: Lasersysteme für die 3D-Laserinnengravur

Dietel, C.: Laserstrahlbeschriften von Kunststoffen - eine Übersicht, Vortrag BLZ, München, 2006

Donges, A.: Physikalische Grundlagen der Lasertechnik. 2. Auflage. Hüthig, Heidelberg 2000

Franck, A.: Kunststoff-Kompendium, Vogel Buchverlag, 6. Auflage 2006

Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen

Gebert K.; Hopfner M.; Laserschweißen von Kunststoffen, SKZ Vortrag, Würzburg, 2004

Hänsch, D.: Die optischen Eigenschaften von Polymeren und ihre Bedeutung für das Durchstrahlschweißen mit Diodenlaser, Dissertation, Aachen, 2001

Hillmann, R.: Kunststoffbeschriften mit Lasern unterschiedlicher Wellenlänge, Vortrag BLZ, München, 2006

Hopfner M.: Laserschweißen von Kunststoffen, Vortrag Allod Werkstoff GmbH, Burgbernheim, 2004

Klein, M.: Laser Beam Welding of Plastics in Micro Technology, Dissertation, Köln, 2001

Klein, R.M.: Bearbeitung von Polymerwerkstoffen mit infraroter Laserstrahlung, Dissertation, Aachen, 1990

Kneubühl, F.K., Sigrist, M.W.: Laser, 6. Auflage. Teubner (Teubner Studienbücher Physik), Wiesbaden 2005

Korte, J.: Laserschweißen von Thermoplasten, Dissertation, Paderborn, 1998

Leitfaden „Laserstrahlung“, Fachverband für Strahlenschutz e.V.

Liebscher, J.: Beidseitig gleichzeitiges Laserstrahlschweißen von großformatigen 3D-Luftfahrtstrukturen, Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS), Dresden, 2005

LPKF Laser & Electronics AG, Garbsen/Erlangen:
Lasersysteme/-verfahren für die Laser-Direktstrukturierung, Laserschweißsysteme

Meyers Lexikon online 2.0

N.N : Einflußgrößen beim Schweißprozess, Vortrag SKZ, Würzburg, 2006

N.N : Grundlagen Laser, SKZ, Würzburg, 2006

N.N : Grundlagen Laserkunststoffschweißen, Vortrag SKZ, Würzburg, 2006

N.N : Kunststoff-Fügeverfahren, Vortrag, Würzburg, 2006

N.N.: Lasertechnik CD-ROM mit Bildern zur Vorlesung Lasertechnik 1 und 2, Lehrstuhl für Lasertechnik, RWTH Aachen, 1998

N.N: Grundlagen Laser-Kunststoffschweißen, Vortrag BLZ, Erlangen, 2006

N.N: Kunststoff-Fügeverfahren, Vortrag BLZ, Erlangen, 2006

Oberbach, K.: Saechtling – Kunststofftaschenbuch, 28. Auflage, Hanser Verlag 2001

Pösentrup R.; Stier T.; Werkstoffe für das Laserschweißen, SKZ Vortrag, Würzburg, 2004

Potente, H.; Fiegler, G.: Technische Aspekte des Laserschweißens von Kunststoffen, SKZ Seminar, Würzburg, 2004

Potente, H.; Heil, M; Korte, J.: Laserschweißen von Thermoplasten, Plastverarbeiter 46 (1995) 9

Russek, Dr. U.A. (Huf Tools GmbH, Velbert): Parameteränderungen beim Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten und deren Auswirkungen auf die Schweißnaht, Vortrag SKZ, Würzburg, 2007

Schulz J.-E.: Material, Process and Component Investigations at Laser Beam Welding of Polymers, Dissertation, Aachen, 2002

Siefert, M.; Renner, T.: Laser-adapted construction for plastic welding, Kunststoffe 2/2004, 2004

Siegman, A.E.: Lasers; University Science Books, Mill Valley/CA 1986

Struve, B.: Laser, Grundlagen, Komponenten, Technik, 11. Auflage, Verlag Technik, Berlin 2001

TREFFERT GmbH & Co.KG, Bingen: Masterbatche und Compounds mit Laseradditiven

William T.: Silfvast: Laser Fundamentals, 2. Auflage, Cambridge University Press, Cambridge 2004

Wolff, W.: Permanently Mark Highly Transparent Plastics, Kunststoffe plast europe 09/2005

Wolff, W.: 3D Laser Subsurface Engraving, Kunststoffe plast europe 12/2005

Kontakt

Rainer Göring

TELEFON +49 2365 49-4394
rainer.goering@evonik.com

Unsere Informationen entsprechen unseren heutigen Kenntnissen und Erfahrungen nach unserem besten Wissen. Wir geben sie jedoch ohne Verbindlichkeit weiter. Änderungen im Rahmen des technischen Fortschritts und der betrieblichen Weiterentwicklung bleiben vorbehalten. Unsere Informationen beschreiben lediglich die Beschaffenheit unserer Produkte und Leistungen und stellen keine Garantien dar. Der Abnehmer ist von einer sorgfältigen Prüfung der Funktionen bzw. Anwendungsmöglichkeiten der Produkte durch dafür qualifiziertes Personal nicht befreit. Dies gilt auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter. Die Erwähnung von Handelsnamen anderer Unternehmen ist keine Empfehlung und schließt die Verwendung anderer gleichartiger Produkte nicht aus.

(Stand Februar 2008)



Evonik Industries AG
High Performance Polymers
Paul-Baumann-Str. 1
45772 Marl
TELEFON +49 2365 49 - 6322
TELEFAX +49 2365 49 - 806322
www.evonik.com/performance-polymers

Evonik. Kraft für Neues.