



TRUMPF



# Lasermarkieren kompakt



#mymarkinglas

# Lasermarkieren kompakt

Markierlaser übernehmen immer mehr Aufgaben in der Industrie. In diesem Handbuch lesen Sie, welche Rolle Markierlaser in den verschiedenen Branchen spielen. Sie erfahren technische Hintergründe zu Prozessen sowie Lasersystemen und erhalten einen Leitfaden zum praktischen Markieren.

## **1 EINSATZGEBIETE UND BRANCHEN**

**1.1 RÜCKVERFOLGBARKEIT**

**1.2 INDIVIDUALISIERUNG UND DESIGN**

**1.3 PROZESSVORBEREITUNG / OBERFLÄCHENBEHANDLUNG**

**1.4 MEDIZINTECHNIK**

**1.5 AUTOMOBIL**

**1.6 ELEKTRONIK**

**1.7 WEISSE WARE UND KONSUMGÜTER**

## **2 GRUNDLAGEN DES LASERMARKIERENS**

**2.1 METALLE**

**2.2 KUNSTSTOFFE**

**2.3 WEITERE NICHTMETALLE**

**2.4 NATÜRLICHE MATERIALIEN**

**2.5 PROZESSPARAMETER**

**2.6 LASER**

**2.7 STRAHLFÜHRUNG UND FOKUSSIERUNG**

**2.8 MARKIERSYSTEME**

**2.9 PROZESSSICHERHEIT**

## **3 PRAKTISCHES MARKIEREN**

**3.1 MARKIERINHALTE DEFINIEREN**

**3.2 POSITION AUSRICHTEN**

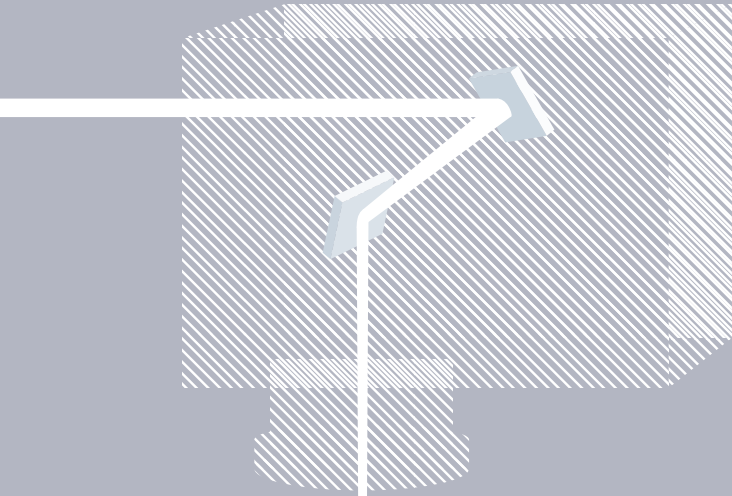
**3.3 PARAMETER WÄHLEN**

**3.4 ABLÄUFE DEFINIEREN**

**3.5 MARKIEREN**

**3.6 ÜBERPRÜFEN DER QUALITÄT UND LESBARKEIT**

**3.7 APPLIKATIONSUNTERSTÜTZUNG UND SERVICE**



# 1. EINSATZGEBIETE UND BRANCHEN

Markieren in der Industrie—das heißt inzwischen immer häufiger: Markieren per Laser. Denn Laser bieten eine Reihe von **Vorteilen gegenüber konventionellen Verfahren**: Sie können vielfältige Materialien berührungslos, hochflexibel und in perfekter Qualität markieren und sind leicht in jede Fertigung zu integrieren. All diese Merkmale kommen den höheren Anforderungen an Rückverfolgbarkeit bis hin zu Rohmaterialien, an Fälschungssicherheit und individualisierte Produkte entgegen. Auch der Wunsch, ein Bauteil zu seinem eigenen Datenträger für die Smart Factory zu machen, kann mit ihnen erfüllt werden.

Aber damit nicht genug: Das Anwendungsspektrum von gepulsten Lasern beziehungsweise Markierlasern geht schon längst über das reine Beschriften von Bauteilen hinaus: Sie sind auch aus der Prozessvorbereitung und Oberflächenbehandlung nicht mehr wegzudenken.

## *Die Vorteile in der Übersicht:*

- Hohe **Flexibilität** bei der Geometrie der Beschriftung
- Hohe **Qualität** der Beschriftung (sehr scharfe Ränder)
- Hohe **Reproduzierbarkeit**
- **Kein Werkzeugverschleiß** durch berührungslose Bearbeitung (ermöglicht hohe Qualität bei niedrigen Kosten)
- **Geringe Wärmeeinbringung** beeinflusst das Material nur wenig
- Einfache **Integration** in vollautomatische Fertigungsabläufe
- **Kein Vor- und Nacharbeiten** notwendig
- Große **Vielfalt** der bearbeitbaren **Materialien** (Keramiken, Metalle, Kunststoffe etc.)
- Sehr **feine Strukturen und kleine Markierungen** möglich (bis hin zum Mikrometerbereich)
- Bearbeitung **großer Flächen** möglich
- **Schwer zugängliche Stellen** sind erreichbar
- Hohe **Beschriftungsgeschwindigkeit**
- **Keine** teuren, eventuell umweltschädlichen **Verbrauchsmaterialien** wie Tinte notwendig
- **Umweltfreundlich** und abfallfrei

**DIE EINSATZGEBIETE UND DER ANWENDUNGSNUTZEN VON MARKIERLASERN IN DER INDUSTRIE SIND VIELFÄLTIG:**



←  
*Einfache und dauerhafte Kennzeichnung eines Bauteils, entweder auf dem Bauteil selbst oder über ein Typenschild.*



←  
*Markierungslinien und -punkte.*



↑  
*Funktionsbezogene Kennzeichnungen, zum Beispiel als Legende zu Schaltern, Tastaturen, Tachometern – auch leuchtend im sogenannten Tag-und-Nacht-Design.*

→  
*Bearbeitungsdaten als maschinenlesbare Codes aufbringen zur automatischen Weiterverarbeitung in der Smart Factory.*



←  
*Produktkennzeichnung durch Aufbringen von Logos und Bezeichnungen ...*

*... oder  
Designelementen.*



→

Kennzeichnung durch Unique Device Identifier Code (UDI) zur durchgängigen Rückverfolgbarkeit aufgrund der Regelungen zur Produkthaftung.



Exakte Bauteilidentifikation, zum Beispiel über einen Data Matrix Code.



Imitationsschutz durch Kennzeichnungen, zum Beispiel individuelle Zeichen oder Logos.



→  
Individualisierungen, zum Beispiel durch den Kundennamen auf Gebrauchsgegenständen wie Kosmetikartikeln, Sitzbezügen ...



Schaffung funktionaler Oberflächen durch Strukturieren.



... oder auch für Ausweisdokumente.



→  
Vorbereitung für anschließende Prozessschritte wie Schweißen oder Kleben: Reinigen, Abtragen, Strukturieren von Oberflächen.







Mobile Marker

max. 500 kg

TRUMPF

TruMark 5000



## 1.1 RÜCKVERFOLGBARKEIT

Ein wichtiger Grund für Industrieunternehmen, ihre Produkte zu markieren, sind verschärfte **Produkthaftungsgesetze und Zertifizierungen**. Bei Ausschuss und Fehlerkosten aufgrund fehlerhafter Zulieferbauteile können die Kosten gesetzlich an den eigentlichen Verursacher weitergereicht werden. Das zwingt die Industrie, zu dokumentieren, welche Elemente für welchen Auftrag und in welchem Bauteil verarbeitet wurden. Insbesondere Hersteller **sicherheitsrelevanter Komponenten** wie beispielsweise Zulieferer für die Automobil- oder Luftfahrtindustrie, für die Medizintechnik und zunehmend auch für die Sensortechnik und Elektronik/ Elektrotechnik sind dazu aufgefordert, jederzeit darüber Auskunft geben zu können, welche Einzelbauteile in kompletten Systemen verwendet wurden. Nur eine dauerhafte, gut lesbare Kennzeichnung wird diesen Vorgaben gerecht.

*Die Anforderungen an eine industrielle Markierung sind:*

- **Dauerhafte** Markierung
- **Hoher Kontrast** der Markierung gegenüber dem Grundmaterial zur leichten maschinellen Lesbarkeit
- Hohe **Flexibilität** in Inhalt und Form
- **Materialschonende** Markierung
- Markierung soll in **Dokumentationssysteme** eingebunden werden können, zum Beispiel indem Messdaten direkt auf dem Bauteil dokumentiert werden
- **Kosteneffizientes** Gesamtsystem

*Gründe für Markierungen zur Rückverfolgbarkeit:*

- Eindeutige **Identifikation** von Bauteilen vom Wareneingang bis Warenausgang
- Identifikation **fehlerhafter Bauteile** aus bestimmten Chargen
- **Dokumentation** statistischer Prozess- und Qualitätskontrolle
- Ablage von Arbeitsergebnissen und Messdaten in einer **Datenbank**
- Auslesen und Abrufen von **Bearbeitungsprogrammen** (Produktionssteuerung)
- **Schutz** von Originalprodukten **vor Plagiaten**

## WELCHE ARTEN DER MARKIERUNG GIBT ES?

Gängige Markierungen von Industriebauteilen lassen sich aufteilen in Design- und Textmarkierungen sowie eindimensionale (nur in eine Richtung codiert) und zweidimensionale (in  $xy$ -Richtung codiert) Codierungen. **Vier Haupttypen** gibt es:

### Freitext

In der Industrie gibt es eine große Bandbreite von Anwendungsfällen für Freitext – von Seriennummern über Typenschilder bis hin zum Hinweis „Made in Germany“. Gerade bei Variablen und Seriennummern spielt der Laser seine Stärken aus, da sie automatisiert fortlaufend markiert werden können. Grundsätzlich lässt sich jede Schriftart einsetzen, es gibt aber auch laseroptimierte Schriften. Diese sind kreuzungsfrei, um Einbrände in jedem Fall zu vermeiden. Sogenannte Normschriften sind speziell für technische Anwendungen wie dem Lasermarkieren angelegt, aber auch der Import von TrueType-Schriften (wie die Windows-Standardschriften) liefert gute Ergebnisse, genauso wie die Verwendung von etwaigen Symbolen oder Sonderzeichen.



### Barcode

Ein Barcode (auch Strichcode, Balkencode oder Streifencode) besteht aus einer Reihe von verschieden dicken Strichen und Leerstellen. Die Reihenfolge wird anhand einer binären Codierlogik festgelegt. Auf diese Weise werden Daten (oft Zahlenreihen für logistische Prozesse) maschinenlesbar aufbereitet. Zur Erfassung wird ein Barcode-Scanner oder eine Kamera eingesetzt – die Weiterverarbeitung erfolgt elektronisch. Die Markierung per Laser sorgt für maximale Lesbarkeit.

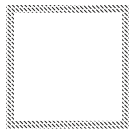


### Data Matrix Code

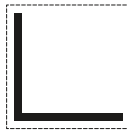
Der Data Matrix Code ist der wohl bekannteste maschinenlesbare 2D-Code. Die US-amerikanische Firma International DATA Matrix hat ihn 1989 entwickelt, um mehr Informationen in einen Code zu packen, als bis dahin mit Barcodes möglich war. Ein Data Matrix Code besteht aus fünf Elementen: zwei durchgezogenen Linien (Solid Border), zwei durchbrochenen Linien (Broken Border), den eigentlichen Datenzellen (Data Storage) und vier Hellfeldern als Ruhezone um den Code herum. Die meisten Data Matrix Codes sind quadratisch, es gibt sie aber auch in rechteckigen Formen.



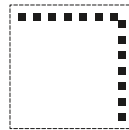
Data Matrix  
Code



Ruhezone



Solid Border



Broken Border



Data Storage

### Designelemente und Grafiken

Grafiken werden oft zu dekorativen Zwecken eingesetzt, oder um beispielsweise das Firmenlogo auf eine Komponente aufzubringen. Die Komplexität der Grafiken kann sich dabei stark unterscheiden. Grundsätzlich ist hierfür der Import aus allen gängigen vektororientierten Grafikformaten (DXF/DWG, HPGL, IGES etc.) sowie Pixelformaten (BMP, JPG etc.) möglich. Die Software zur Erstellung von Markierinhalten entspricht einem vollwertigen CAD-Zeichenprogramm – um Grafikinhalte in Laserprogramme zu übersetzen.



Rechts: Durch Entlacken personalisierte Lippenstifte und Designmöglichkeiten auf blau eloxiertem Aluminium.

Unten: Farbige Anlassbeschriftung auf Titan.



Per Markierlaser eingebrachte Grafik an einer Kopfstütze.

Designs auf Stoff und Holz.



## 1.2 INDIVIDUALISIERUNG UND DESIGN

In vielen industriellen Anwendungen steht in Zeiten von Industrie 4.0 die Flexibilität im Vordergrund. Der Trend geht hin zur **größtmöglichen Individualisierung** und zu **Losgröße 1** – da muss das Beschriftungsverfahren mithalten können. Lasermarkieren ist ideal dazu geeignet, standardisiert hergestellte Produkte mit individuellen Merkmalen zu versehen – seien es Designelemente oder der eigene Name.

### VORTEILE DES LASERMARKIERENS FÜR INDIVIDUALISIERUNG UND DESIGN

In den letzten Jahren hat der Laser als Werkzeug für das Beschriften industrieller Produktionsgüter große Bedeutung erlangt. Das liegt einerseits an den bereits beschriebenen Vorteilen hinsichtlich der **Flexibilität**, andererseits auch an der weiterentwickelten

**Bedienfreundlichkeit** von Beschriftungssystemen. Dem Design sind praktisch keine Grenzen gesetzt. Die einfache Integration in die Fertigungskette macht es möglich, auch in der Serienfertigung Individualisierungsmöglichkeiten vorzusehen, ohne dass an der Qualität gespart werden muss.

Der Anwender kann seine Designs auf einer **Vielzahl von Werkstoffen** aufbringen. Durch Zusatz von Additiven bei Kunststoffen oder durch Einsatz von ultravioletten Lasern kann die Bandbreite sogar noch größer werden. Eine Lasermarkieranlage ersetzt damit potenziell mehrere andere Verfahren – und das bei besserer Qualität.

Markierung auf Toilettendeckel  
aus weißem Duroplast.



## 1.3 PROZESSVORBEREITUNG / OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

Schon lange werden die kurzgepulsten Laser nicht nur für klassische Markierungen eingesetzt, sondern finden dank ihrer Robustheit und Flexibilität in der Industrie auch ganz andere Anwendungen. Die zwei häufigsten Einsatzgebiete jenseits des Markierens sind die Behandlung von Oberflächen zur Vorbereitung anschließender Fügeprozesse und die Funktionalisierung aller Arten von Oberflächen.

### WARUM MARKIERLASER ZUR VORBEREITUNG VON FÜGEPROZESSEN EINSETZEN?

Funktionsschichten wie Isolierungen oder Beschichtungen zum Schutz der Oberflächen können eine Herausforderung für Fügeprozesse wie Laserschweißen, Löten oder Kleben sein. Dem lässt sich zwar manchmal durch entsprechende Parametrisierung entgegenwirken, dennoch wirkt sich das negativ auf die Qualität des Fügeprozesses aus. Beim Schweißen vermischt sich der Werkstoff der Funktionsschicht mit der Metallschmelze und bringt so Unruhe in den Prozess. Das kann zu **Spritzern** und **Einschlüssen** führen. Ähnliches kann durch Schmutzschichten ausgelöst werden. Um die Qualität zu sichern, sind ohne integrierte Laserprozesse **aufwendige Vor- und Nachbearbeitungen** wie chemisches Reinigen oder Sandstrahlen notwendig.

Der Markierlaser kann hier als optimales Vorbereitungswerkzeug dienen. Mit kurzen, kräftigen Pulsen befreit er Bauteile von Schutz-, Oxidations- und Funktionsbeschichtungen, Ölen, Fetten und anderen Verunreinigungen. Und zwar nur dort, wo gefügt werden soll. Das lokale Reinigen macht den Prozess sehr schnell. Und funktionale Schutzschichten jenseits der Fügstellen bleiben intakt. Der Schweißprozess läuft **homogener, schneller und absolut wiederholbar**. Wird ein Markierlaser für die Fügevorbereitung genutzt, kann er das Bauteil auch zugleich mit einem Data Matrix Code oder einer Seriennummer versehen. So sind Reinigung und Rückverfolgbarkeit in einem Schritt sichergestellt.

*Die Vorteile des Markierlasers als komplementäres Werkzeug zum Fügeprozess auf einen Blick:*

- **Einfache Integration** in vollautomatische Fertigungsabläufe, Datenintegration über Schnittstellen
- **Kein Vor- und Nacharbeiten** notwendig
- Bearbeitung **großer Flächen**
- Erreichbarkeit von **schwer zugänglichen Stellen**
- Hohe **Bearbeitungsgeschwindigkeit**
- **Umweltfreundliches** Verfahren

## WELCHE ARTEN VON PROZESSVORBEREITUNGEN UND OBERFLÄCHENBEHANDLUNGEN GIBT ES?

### Reinigen zur Schweißvorbereitung

Markierlaser mit kurzen und ultrakurzen Pulsen entfernen unerwünschte Beschichtungen zielgenau an den Fügstellen, ohne die Oberfläche darunter zu beeinflussen. Beim anschließenden Schweißen führt das sowohl zu effizienten Prozessen als auch zu hochqualitativen Ergebnissen.

*Die Vorteile beim Schweißen lasergereinigter Bauteile:*

- Höhere **Qualität** der Schweißung
- Deutlich **weniger Spritzer** während des Schweißprozesses
- **Weniger Poreneinschlüsse** beim Schweißen
- Deutlich **ruhigerer Schweißprozess**
- Lokale, sekundenschnelle Reinigung **exakt** an den Fügstellen
- Hohe **Reproduzierbarkeit** und gleichmäßiges Reinigungsergebnis auf der Oberfläche
- Ersetzt zeitintensive Reinigungsmaßnahmen wie Bäder oder Sandstrahlen und kommt rückstandsfrei völlig **ohne Chemikalien** oder andere Hilfsmittel aus

### Fette und Öle entfernen

An manchen Bauteilen haften produktionsbedingt Öle oder Fette. Für einen ruhigen, spritzerarmen Schweißprozess und ein qualitativ hochwertiges Ergebnis empfiehlt es sich, diese Schichten an den Fügstellen zu entfernen. Das Laserlicht aus dem Markierlaser verdampft die Verschmutzung und die Oberfläche wird nur wenig beeinflusst.

#### *Beispiel*

Ein typisches Einsatzgebiet ist das Entfernen von Ölrückständen an **Rohren**. Hierzu verdampft ein Markierlaser rundherum an beiden Rohrenden zuverlässig das Öl mit nur einer Überfahrt. Eine Absaugvorrichtung transportiert den Dampf ab. Pressluft ist dazu nicht nötig.

### Korrosion und Oxide entfernen

Korrosion und andere Formen von Oxidation an der Oberfläche stören den optischen Eindruck, erschweren die weitere Bearbeitung (beispielsweise Verbindungen durch Kleben oder Schweißen) und schränken die Funktionalität ein. Dazu wird das Material verdampft und abgesaugt. Man passt die Laserleistung an den Korrosionsgrad an und arbeitet nötigenfalls mit mehreren Überfahrten. Eine einzelne Überfahrt entfernt Korrosion bis zu einer Dicke von 100 µm. Mit einem Scannersystem beträgt die Abtragrate typischerweise bis zu 30 cm<sup>2</sup>/s.

### Formenreinigen

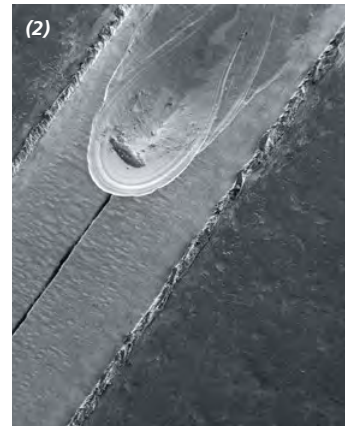
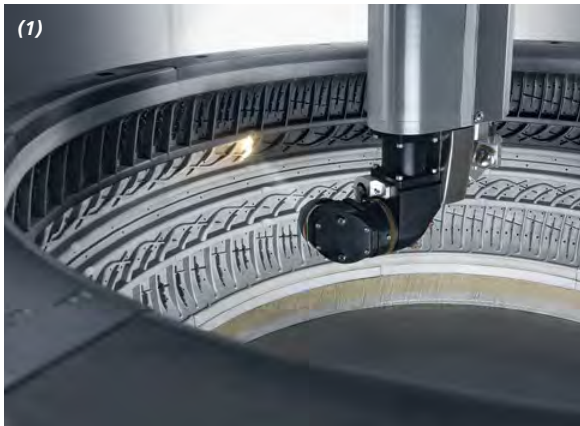
Beim Formenreinigen verdampft der Markierlaser großflächig nur Prozessrückstände, ohne die Form dabei zu verschleifen. Dank der Laserreinigung kann die Industrie auf energieintensive, verschleißverursachende oder problematische Reinigungsmethoden wie Chemikalien, Trockeneis, Bürsten oder Sandstrahlen verzichten.

#### Beispiel (1)

Eingesetzt wird das Verfahren zum Beispiel bei der Herstellung von **Reifen**. Hier wird in einer Reifenform Kautschuk bei Hochdruck und 170 °C vulkanisiert. Beim Heraus-trennen bleiben Reste von Gummi und Trennmittel in den Negativprofilen der Form haften. Regelmäßig verdampft dann ein gepulster Laser die unterschiedlich dicken Reste in den geometrisch komplexen Profilen.



Video: TruMicro 7050 Laserreinigen  
[www.trumpf.info/q50fhg](http://www.trumpf.info/q50fhg)



## Entschichten

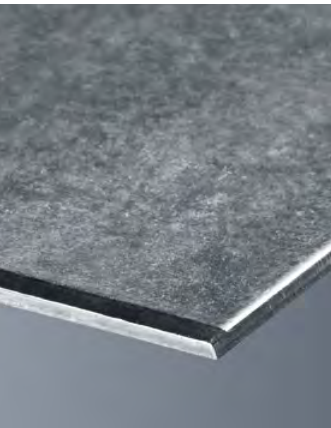
Verzinkungen, Vernickelungen und Antikorrosionsschichten führen beim **Schweißen** zu Spritzern und Poreneinschlüssen. Für einen ruhigen Prozess und ein hochwertiges Ergebnis empfiehlt es sich, die Schichten an den Fugestellen abzutragen. Nach demselben Prinzip werden solche Schichten auch vor dem **Löten** lokal entfernt.

### *Beispiel (2)*

Tiefgezogene, maßgeschneiderte Stahlblechplatinen mit unterschiedlichen Werkstoffgüten und Blechdicken (**Tailored Blanks**) werden von einer circa 10 bis 20 µm dicken Schicht aus einer **Aluminium-Silizium-Legierung (AlSi)** vor Korrosion geschützt. Beim Schweißen führt die Schutzschicht zu Spritzern und Poren, sodass eine sichere Verbindung nicht gewährleistet werden kann. Darum ist es nötig, die AlSi-Schicht gezielt an den Fugestellen abzutragen, ohne das darunterliegende Basismaterial zu beeinflussen. Mit kurzen Laserpulsen ist es möglich, die Schicht mit einer Prozessgeschwindigkeit von mehr als 5 cm<sup>2</sup>/s abzutragen.

### *Beispiel (3)*

In der Automobilindustrie wird für das Achsausgleichsgetriebe (Differenzial) ein Tellerrad mit dem Getriebegehäuse verschweißt (**Powertrain**). Dieses Bauteil muss in seinem Lebenszyklus immense Kräfte weiterleiten – entsprechend hoch sind die Anforderungen an den Laserschweißprozess. Spritzer und Poreneinschlüsse aus der schützenden Phosphatschicht am Tellerrad können das Bauteil untauglich machen. Darum verdampft ein Markierlaser mit Scanneroptik kurz vor der Schweißung die Phosphatbeschichtung und eine etwaige Ölschicht passgenau an der Fugestelle. Da das Tellerrad rotationssymmetrisch ist, wird das Bauteil während der Entschichtung gedreht. Unterdessen bleibt der Laser starr, der Scanner lässt den Strahl allerdings oszillieren, um das gewünschte Feld abzudecken.



## Entlacken

Beim Entlacken geht es darum, Farbe oder Lacke lokal oder komplett zu entfernen, ohne die darunterliegende Oberfläche zu beeinflussen. Das Entlacken dient dazu, die elektrische Leitfähigkeit zu erhöhen, einen anschließenden Schweiß- oder Klebprozess vorzubereiten, bei transparenten Teilen ein Fenster zu kreieren oder um eine Neulackierung zu ermöglichen.

### *Beispiel (1)*

Manchmal entsteht auch erst durch eine Entlackung eine Markierung, etwa an **Pulverbeschichtungen**. Der Laser trägt die Pulverbeschichtung bis zum Grundmaterial ab.

## Aufrauen

Beim Aufrauen geht es darum, die Oberfläche für Klebstoffe, Kunststoff einspritzungen oder Thermoplast zu optimieren. Laserpulse bringen dazu eine Reliefstruktur in die Materialoberfläche, in die sich die Stoffe regelrecht verklammern und so eine feste Verbindung ergeben. Die aufgerauten Oberflächen unterstützen somit Fügeverfahren, die vor allem für Leichtbau und für Verbundwerkstoffe wie CFK wichtig sind: **Kleben** und hybride **formschlüssige Verbindungen** aus Metall und Kunststoff.



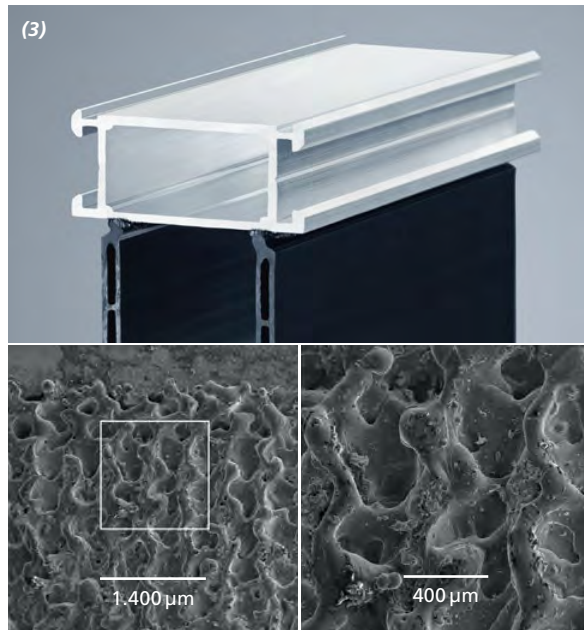


*Beispiel (2)*

Beim Kleben von **Faserverbundwerkstoffen** wie zum Beispiel CFK geht es darum, die Haftungseigenschaften des Materials zu verbessern, ohne die empfindlichen Kohlefasern zu beschädigen. Hier ist die Präzision des Lasers der entscheidende Vorteil: Pulsgenau eingestellt aktiviert das Laserlicht die Oberfläche ausschließlich an der benötigten Stelle und reinigt sie in einem Zug–und nur in der benötigten Tiefe.

*Beispiel (3)*

Formschlüssige **Verbindungen von Metallen und thermoplastischen Kunststoffen** sind ein wichtiges Element im Leichtbau. Sie gelingen, indem Hochleistungsnanosekundenlaser die Oberfläche des metallischen Fügepartners auf die Haftung vorbereiten. Die Laserpulse bringen–auch auf großen Haftflächen–Hinterschnitte durch Gravur und Materialaufwurf ein. Der metallische Fügepartners oder nur die Fügezone wird nun erwärmt (zum Beispiel ebenfalls durch einen Laser). Der thermoplastische Kunststoff fließt in die Hinterschnitte. Ist er erkaltet, ergibt sich eine feste Verbindung, die sich zusätzlich noch hinsichtlich des späteren Kraftflusses optimieren lässt. Auch das Fügen faserverstärkter Kunststoffe mit Metall ist auf diese Weise möglich.



## TRIBOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN VERÄNDERN

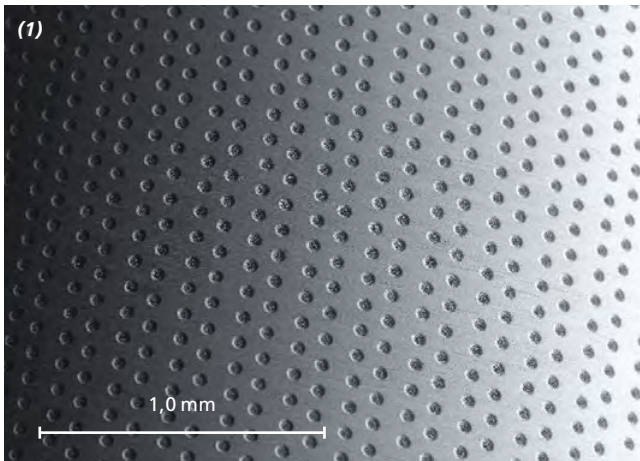
Mit Laserpulsen lassen sich winzige Strukturen leicht ins Material einbringen, um entweder die Reibung zu verringern—etwa um Verschleiß oder Schmierstoffverbrauch zu reduzieren—oder um die Reibung gezielt zu erhöhen, etwa zur Verdrehungssicherung oder zu einer höheren Flächenpressung. Die laserinduzierten Strukturen sind hier etwa Nöpfchen, Taschen, Linien oder Spiralen.

### *Beispiel (1)*

Typische Einsatzgebiete des Laserstrukturierens zur Reibungsverringerung sind die **Laufflächen** von Zylindern oder Lagersitzen von Wellen. Hier werden Ölschmiernöpfchen aufgebracht. Auch die Strukturierung von Rohrinneisen ist möglich: Hierfür fällt das Laserlicht schräg ein und strukturiert die Oberfläche, indem die Fokusebene mittels interner Defokussierung angepasst wird.

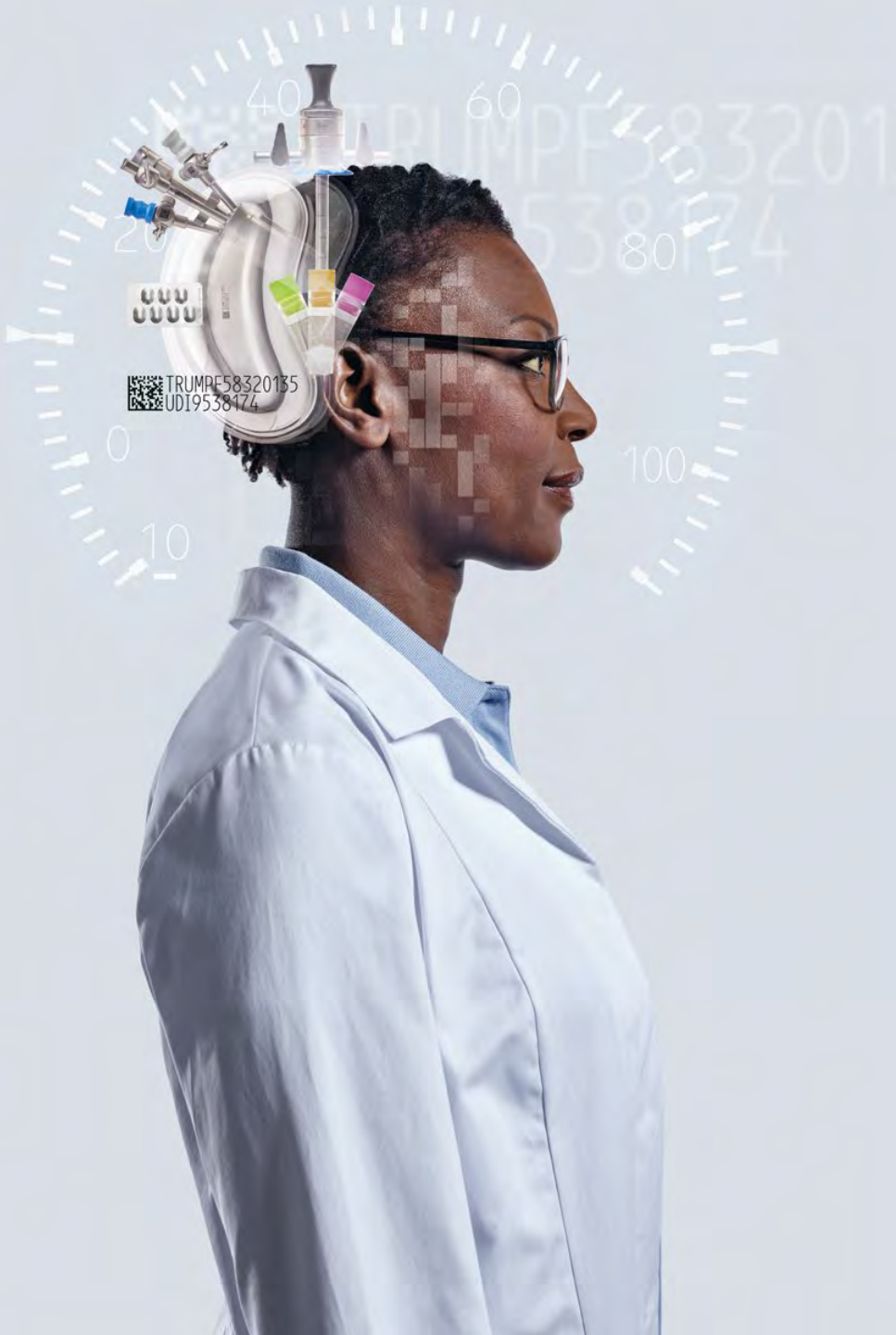
### *Beispiel (2)*

Ein typisches Einsatzgebiet des Laserstrukturierens zur Reibungserhöhung ist der **Lagersitz von Pleuelstangen** im Antrieb. Die Gratstruktur erhöht die Flächenpressung der Lagerschalen im großen Pleuelauge und verringert die Gefahr des Durchrutschens bei hohen Drehmomenten.



(2)





## 1.4 MEDIZINTECHNIK

### BESONDERE HERAUSFORDERUNGEN DER BRANCHE

#### Qualifizierung

Das Qualitätsmanagement in der Medizintechnik ist streng. Dazu gehört auch, dass alle Prozesse innerhalb der Fertigung validiert sind. Ein Teil dieses Validierungsplans stellt die Qualifizierung des dazu verwendeten Equipments dar, die sogenannte Equipment Qualification (EQ). Hierbei wird jede Anlage, auch wenn sie nur am Rande des Herstellungsprozesses zum Einsatz kommt, nach höchsten Maßstäben technisch überprüft. Das gilt selbstverständlich auch für den Markierlaser. Die Equipment Qualification wird meist in folgende Qualifizierungsschritte unterteilt:

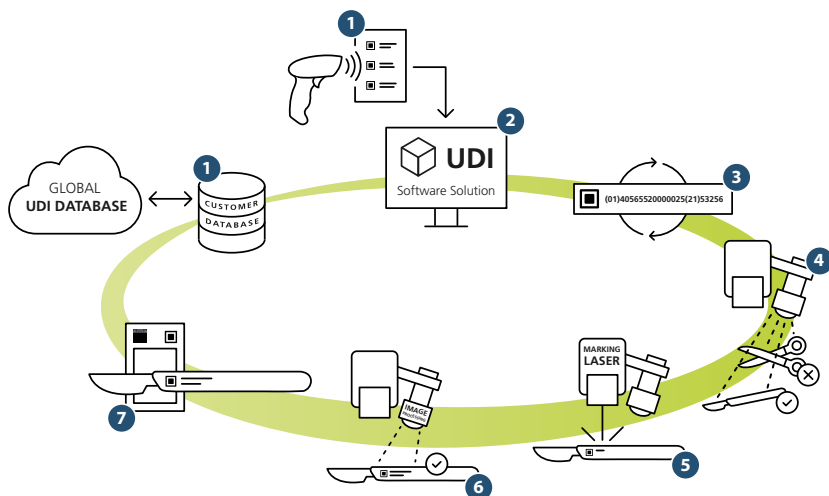
- Die **Design Qualification (DQ)** definiert, welche Anforderungen an die Maschine gestellt und wie diese realisiert werden (Lasten- und Pflichtenheft).
- Die **Installation Qualification (IQ)** weist nach, dass eine Maschine mit den dokumentierten Anforderungen übereinstimmt und korrekt installiert wurde sowie alle notwendigen Begleitdokumente vorhanden sind.
- Die **Operation Qualification (OQ)** prüft die korrekte Funktionsweise der Maschine in der gewählten Arbeitsumgebung. Es wird nachgewiesen, dass das System, einschließlich aller individuellen Einstellungen, gemäß den betrieblichen Vorgaben funktioniert.
- **Performance** oder **Process Qualification (PQ)** prüft, ob die Anlage den Prozess entsprechend den Vorgaben und innerhalb der Prozessgrenzen statistisch abgesichert realisiert.

Hersteller wie TRUMPF können Kunden bei diesen Qualifizierungen unterstützen, indem sie beispielsweise standardisierte Pakete zur IQ und OQ anbieten. Der Anwender hat den Vorteil, dass er die notwendige Dokumentation gleich mit erhält.

#### Umsetzung der UDI-Anforderungen

Wichtige Märkte wie die USA, China oder die EU stellen hohe Ansprüche an die Rückverfolgbarkeit medizintechnischer Produkte. Das Stichwort lautet **Unique Device Identification (UDI)**. Die Details der Regularien unterscheiden sich zwar, aber klar ist immer: Medizinprodukte müssen zwingend mit einem beständigen Code markiert werden, in dem alle relevanten Informationen (zum Beispiel Hersteller, Chargennummer, Produktionsdatum) festgehalten sind.





### Schritte des UDI-konformen Markierens

**Schritt 1:** Die Software ist mit Datenbanken verknüpft. Zusätzlich ist es beispielsweise zusätzlich möglich, über externe Handscanner Informationen in das System einzulesen.

**Schritt 2:** Ein Interface verarbeitet die Inputdaten und verbindet zum Beispiel Datenbanken oder Steuerungssysteme mit dem Markierlaser.

**Schritt 3:** Das UDI-Modul erstellt den regelkonformen Code aus den UDI-relevanten Daten und individuellen Erweiterungen.

**Schritt 4:** Eine Bildverarbeitung erkennt das Bauteil sowie seine Position automatisch. Die Software leitet die Information an die Steuerung weiter, die die Markierung an der richtigen Stelle setzt.

**Schritt 5:** Der Laser markiert das Werkstück.

**Schritt 6:** Eine anschließende automatische Qualitätskontrolle per Kamera liest und beurteilt die Qualität der Markierung.

**Schritt 7:** Die markierten Daten werden mit der Datenbank abgeglichen und zur Dokumentation gespeichert – wenn gewünscht auch mit zusätzlichen Informationen.



Video: Erfolgsgeschichte unseres Kunden Miethke  
[www.trumpf.info/t53xal](http://www.trumpf.info/t53xal)



Video: UDI-konformes Lasermarkieren  
[www.trumpf.info/8y9wrp](http://www.trumpf.info/8y9wrp)


UDI-Markierung auf chirurgischem Edelstahl und lasermarkiertes Messröhrchen.



Die Rückverfolgbarkeit muss über die gesamte Lieferkette und Lebensdauer des Produkts sichergestellt sein. Der Code sollte sowohl von Maschinen als auch Menschen gelesen werden können. Dazu muss die Beschriftungssoftware alle nötigen Features mitbringen. Sie muss also gängige Standards wie GS1, HIBC oder ISBT 128 beherrschen und über die notwendigen Schnittstellen verfügen, um alle notwendigen Daten zu importieren und gegebenenfalls auch für relevante Datenbanken wieder zu exportieren.

## ANWENDUNGEN

### Schwarzmarkieren mit Ultrakurzpulslasern (UKP)



Um die hohen Qualitätsanforderungen der Gesetzgeber weltweit zu **dauerhafter Lesbarkeit** und **Korrosionsbeständigkeit** zu erfüllen, ist das sogenannte Schwarzmarkieren (auch Black Marking) das Verfahren der Wahl. Dabei bringt der Laser eine äußerst dunkle, kontrastreiche Beschriftung ohne Abtrag des Materials in die Oberfläche ein. Extrem kurze Laserpulse schaffen dazu Strukturen im Nanometerbereich. Die raue Oberfläche—sogenannte Nanoripples—sorgt dafür, dass die Streuung (gerichtete Reflektion) des Lichts reduziert wird und eine aus jedem Blickwinkel gut erkennbare tiefe Schwärzung der Markierung entsteht.

*Technische Hintergründe zum Schwarzmarkieren in Kapitel 2.1*

Die **Vorteile des Schwarzmarkierens** auf einen Blick:

- Hoher **Kontrast** der Beschriftung
- Konsistente **Qualität** bei großen Stückzahlen
- Hohe **Beständigkeit** (auch bei hundertfacher Sterilisierung) und klinischer Aufbereitung
- **Korrosionsbeständigkeit**
- **Blickwinkelstabilität** (auch im hellen OP) durch matte Beschriftung



## 1.5 AUTOMOBIL

### BESONDERE HERAUSFORDERUNGEN DER BRANCHE

Die Frage, um die sich in der Automobilbranche vieles dreht, ist die lückenlose Rückverfolgbarkeit sowie eindeutige Kennzeichnung zum Plagiatsschutz durch entsprechende Markierungen. Hierzu wird sehr häufig der Markierlaser eingesetzt, weil er die Anforderungen der Fertigungsbedingungen in der Branche erfüllt.

- Die **Taktung** ist enorm hoch, da je nach Komponente riesige Stückzahlen hergestellt werden. Markierprozesse müssen also **hochproduktiv** und trotzdem präzise sein.
- Um eine **gleichbleibend hohe Qualität** zu liefern, müssen die Markierprozesse stabil und reproduzierbar gestaltet sein. Die geforderten Toleranzen sind minimal und müssen unbedingt eingehalten werden.
- Die **Verfügbarkeit** sowie die **Lebensdauer** des Lasers sollte hoch sein, selbst bei mehrmaliger Verlagerung einer Anlage, um die im Vergleich oft höheren Anfangsinvestitionen aufzufangen.
- Viele Automobilkomponenten werden unter schwierigen Bedingungen wie etwa in unmittelbarer Nähe zu Gießereien hergestellt. Die Produktionsmittel müssen also mit **Umweltbedingungen** wie hohen Temperaturen zurechtkommen.
- Eine **einfache, intuitive Bedienoberfläche** ist neben der hohen Flexibilität eine weitere Anforderung: Die Einrichtung auch unterschiedlicher Prozesse muss schnell und am besten ohne externe Hilfe erfolgen können, sodass auch weniger gut ausgebildete Bediener die Markierlaser sicher handhaben können.
- Automobilkonzerne sind internationale Konzerne mit weltweit verteilter Fertigung. Daher muss der **Service** ihrer Anlagen dazu imstande sein, schnell und zielgerichtet in jedem Land reagieren zu können.
- Langjährige **Entwicklungspartnerschaften** zwischen Hersteller und Systemlieferanten lassen positive Synergieeffekte entstehen.

Rückverfolgbarkeit, Plagiatsschutz, Prozessvorbereitung und Design sind die Anwendungsgebiete des Markierlasers.



## ANWENDUNGEN

### Eindeutige Kennzeichnung zur Rückverfolgbarkeit und Plagiatsschutz

Rund um den Themenkomplex Rückverfolgbarkeit gibt es viele Anwendungsbeispiele aus dem Automobilssektor. Der häufigste Fall ist hierbei sicherlich das Aufbringen von **Data Matrix Codes (DMC)**. Es werden aber auch noch **1D-Barcodes** eingesetzt. Das Aufbringen von **Seriennummern, Texten, Logos**, aber auch **Zertifikats-siegeln**, die zur Bauteilidentifizierung dienen, gehört ebenfalls zu den Kernanwendungen rund um die Rückverfolgbarkeit.

Als Verfahren kommen hier meistens Gravieren und – je nach Material – Anlassen beziehungsweise Aufschäumen oder Farbumschlag zum Einsatz. Ein typisches Beispiel sind helle/weiße DMCs auf dunklen Kunststoffoberflächen.

Auf diese Weise wird quasi jedes Bauteil im Fahrzeug markiert. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die **Fahrzeug-Identifikationsnummer (FIN)**, die zur eindeutigen Identifikation dient. Um sicher vor Manipulation zu sein, ist die FIN an mehreren Stellen eines Fahrzeugs angebracht und wird normgerecht immer mindestens 300 µm tief graviert, um zu jedem Zeitpunkt die Lesbarkeit sicherzustellen. Eine Herausforderung für das Markierverfahren ist, dass die gravierten Stellen zumeist noch lackiert werden, was sich jedoch nicht negativ auf die Markierqualität auswirken darf. Ein großer Vorteil des Lasers ist die Berührungslosigkeit und Verschleißfreiheit, im Vergleich zu mechanischen Verfahren wie Nadelprägen, wodurch Peripheriekomponenten wie Roboter keine Belastung erfahren und deren Lebensdauer stark verlängert wird. Ein weiteres Beispiel für eine ähnliche Art der Markierung stellt das sogenannte Schichtstempeln dar. Hierbei werden in allen Teilen, die aus den Presswerken kommen, Daten zu dem Bauteil und der Schicht eingraviert und finden sich dadurch in einer noch höheren Anzahl im Fahrzeug. All diesen Themen gemein ist, dass sie durch den ganzheitlichen Umgang mit Produktionsdaten effizienter gestaltet werden können. Moderne Produktionssoftware und -datenbanken bringen hierzu viele sinnvolle Funktionen mit, um die Handhabe zu erleichtern.

Lasermarkierung  
auf einem  
Scheinwerfergehäuse.







Laserbeschriftete Zierleiste und Tachometer mit Tag-und-Nacht-Design, hergestellt durch Abtrag mehrschichtiger Kunststoffe.

### Smart Factory/ Produktionssteuerung

Durch den Megatrend **Industrie 4.0** ist hier aber noch viel Potenzial versteckt. Der nächste

logische Schritt wäre eine intelligente Produktion, die Codes aufbringt und ausliest, um selbstständig die nächsten Fertigungsschritte zu steuern.

Hier steht also nicht das Ergebnis des Markierprozesses im Mittelpunkt, die Markierung dient vielmehr der Produktionssteuerung. Um alle Möglichkeiten einer intelligenten Fertigung zu nutzen, müssen zahlreiche Markierlaser möglichst unkompliziert in die Fertigungskette integriert werden.

## DESIGN UND INDIVIDUALISIERUNG

Neben der Herstellung funktionaler Komponenten spielt der Laser beim Thema Individualisierung ebenfalls eine große Rolle im Automobilbau. Einige Hersteller bieten ihren Kunden an, persönliche Verschönerungen wie **Designelemente** an Kopfstützen, Innentüren, Handschuhfächern oder weiteren Stellen aufbringen zu lassen. Dies wird meistens per Farbumschlag gelöst. Hinzu kommen gerade im Premiumsektor viele Markierungen als Schmuckelement auf **Leder, Holz oder Stoffen**. Besondere Anforderungen stellen hier die natürlichen Werkstoffe—gemasertes Holz ist ein uneinheitliches Beschriftungsmaterial. Hier ist eine filigrane Parametrisierung gefragt, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen, ohne das Material zu beschädigen.

Weitere Designelemente, die ebenfalls per Markierlaser aufgebracht werden, dienen aber einem bestimmten Zweck. Hierzu gehören Tag-und-Nacht-Designs von Bedienelementen wie zum Beispiel Tachometer oder Schalter.

Egal, ob die Designs schmückendes Beiwerk sind oder eine optimierende Funktion haben: Stabile Prozessparameter und enge Toleranzen sind Pflicht für den Markierprozess.



## PROZESSVORBEREITUNG UND OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

Neben Beschriftungsanwendungen gibt es viele weitere Felder für den Markierlasereinsatz:

- Reinigen und Abtragen zur Fügevorbereitung
- Strukturieren zur Klebe- und Beschichtungsvorbereitung
- Erzeugen tribologischer Oberflächen
- Aufrauen für Metall-Kunststoff-Verbindungen für den Leichtbau

### Elektromobilität

Die Hersteller von Elektromotoren suchen wegen der wachsenden Nachfrage nach E-Mobilität nach produktiveren Verfahren, die sich leicht automatisieren lassen. Darum kommen hier immer öfter kurz gepulste Laser zum Einsatz.

### Beschichtungsvorbereitung

Beim Befüllen von Batteriezellen können Batteriesäure und Anoden- beziehungsweise Katodenmaterial austreten und Verschmutzungen verursachen. Der Laser kann diese Stellen in einem Prozessschritt reinigen und strukturieren. Anschließende Beschichtungsprozesse, etwa zur elektrischen Isolation, können so reibungslos verlaufen.

### Hairpins abisolieren

Ein wichtiges Gebiet ist der Bau von **Statoren**: Statt die Nuten des Stators, wie zuvor üblich, einzeln mit Kupferdraht zu umwickeln, gehen die Hersteller dazu über, rechteckige Kupferstäbe—aufgrund ihrer Form „Hairpins“ (Haarnadeln) genannt—per Druckluft in die komplette Nut einzuschießen und sie anschließend per Laserschweißen zu kontaktieren.

Die Kupferstäbe sind mit einem Isolationslack überzogen, der dafür an beiden Enden lokal abgetragen werden muss (**Hairpin Stripping**). Der Einsatz von Markierlasern ist mechanischen Verfahren wie Hobeln oder Fräsen hier weit überlegen und erzielt eine bis zu 80 % höhere Produktivität. Bei Isolierlacken, die für den Laser transparent sind, schießt der Laser durch die Isolierung hindurch und sublimiert einen geringen Teil der Kupferoberfläche. Durch den sich entwickelnden Gasdruck wird das Isolationsmaterial sauber abgesprengt (**Blast-off**).





Per kurzgepulstem Laser  
abisolierte Hairpins für den  
Elektromotor.



Aktiviere  
Oberfläche.

Bei nichttransparentem Lack trägt  
der Markierlaser ihn einfach Schicht  
um Schicht ab. Das Ergebnis ist in  
beiden Fällen eine perfekt vorbereitete  
Schweißstelle.

### **Neue Anwendungen in der Batteriefertigung**

Für die Batteriefertigung verlässt  
der Markierlaser sein klassisches  
Aufgabengebiet und kann sogar als  
Schneid- und Schweißblaser eingesetzt  
werden. Hier geht es darum, feinste  
Metallfolien wie Anoden- oder  
Kathodenfolien (beschichtete  
Aluminium- oder Kupferfolien), aber  
auch andere Materialien möglichst schonend  
mit geringer Wärmeeinflusszone zu trennen. Beim  
Schweißen ist ebenfalls höchste Präzision gefordert, um  
Durchschweißungen an den empfindlichen Kontakten  
zu vermeiden und eine Deformation des Werkstücks zu  
verhindern.



600 V AC    10 AMP  
250 V DC    0,25 AMP  
125 V DC    0,5 AMP

## 1.6 ELEKTRONIK

### BESONDERE HERAUSFORDERUNGEN DER BRANCHE

Die besonderen Anforderungen bei Elektronikanwendungen sprechen für einen verstärkten Markierlasereinsatz:

- Elektronikbauteile sind sehr empfindlich. **Prozesssicherheit**, ein **gezielter Energieeintrag** und das **Einhalten von Toleranzen** sind deshalb unabdingbar.
- Elektronikbauteile sind extremen Bedingungen ausgesetzt. Markierungen müssen besonders **haltbar** sein.
- Elektronikbauteile bestehen aus unterschiedlichen Materialien. Das erfordert **unterschiedliche Wellenlängen, Pulsdauern** und **Leistungsklassen**, um immer die passende Strahlquelle für den richtigen Prozess verwenden zu können.
- Elektronikbauteile werden oft in großen Mengen produziert. Die **Produktivität** ist enorm wichtig und verlangt nach Lasern, die sowohl **robust** sind als auch eine **hohe Uptime** haben. Darüber hinaus sollten sie möglichst **kompakt** sein und für **flexible** Einsatzmöglichkeiten mit vielen **Schnittstellen** ausgerüstet sein.

### ANWENDUNGEN

#### Markieren

Die häufigste Anwendung des Markierlasers in der Elektronik ist die **Beschriftung von Data Matrix Codes** auf sämtlichen Bauteilen. Hier gilt es, unterschiedliche Materialien mit unterschiedlichen Anforderungen unter Einsatz unterschiedlicher Verfahren zu beschriften.

Eine weitere Aufgabe des Markierlasers in der Elektronik ist das Anbringen funktionaler Beschriftungen wie beispielsweise Typenschilder, **CE-Zeichen** und **Chargennummern**.

### DESIGN UND INDIVIDUALISIERUNG

In der Fertigung von industriellen Elektronikbauteilen spielen Design oder Individualisierung – abgesehen vom Herstellerlogo – bislang nur eine untergeordnete Rolle. Wichtiger bei in Masse produzierten Produkten wie Steckern, Kabeln, Schaltern sind funktionale Markierungen. Doch wenn es um gestalterische Elemente geht, ist der Markierlaser auch in der Elektronik das Mittel der Wahl. Es empfiehlt sich der Einsatz von UV-Lasern, da sie über einen photochemischen Effekt und nicht über einen reinen Wärmeeintrag die Markierung erzeugen. Auf diese Weise können auch Beschriftungen auf flammhemmenden Materialien aufgebracht werden.

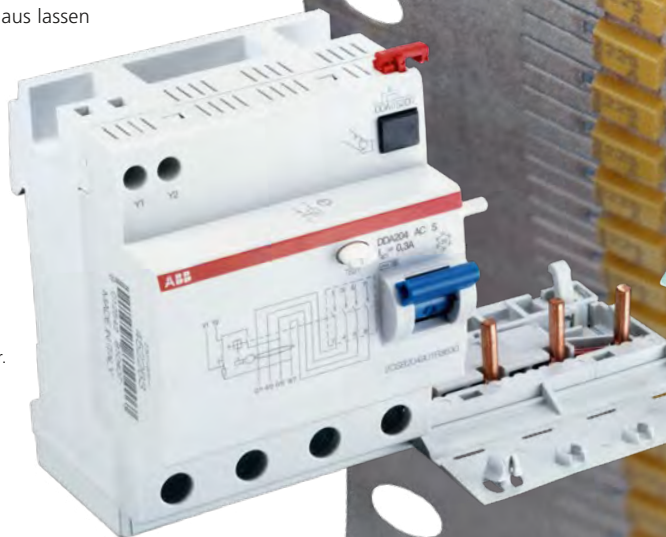
## PROZESSVORBEREITUNG UND OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

Markierlaser kommen auch bei Produktionsschritten zum Einsatz, bei denen man sie vielleicht nicht vermutet – etwa beim Vorbereiten unterschiedlichster Materialien auf das Fügen. Der Laser dient hier zum **Aufrauen, Strukturieren oder Reinigen** der Oberflächen. Denn derart präparierte Fügepartner haften besser aneinander.

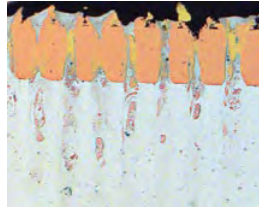
### Fügen per Markierlaser

Eine vergleichsweise neue Anwendung in der Elektronik mit viel Potenzial ist das Schweißen mit nanosekundengepulsten Markierlasern. Mit den kurzen Pulsen lassen sich die empfindlichen und dünnen Bauteile, zum Beispiel **Metallfolien**, so gut wie ohne Wärmeeintrag und damit ohne Verzug und Verformung fügen. Gleichzeitig gewährt der Fügeprozess per Markierlaser eine hohe Leitfähigkeit. In der Batterieherstellung bringen etwa nanogepulste Markierlaser viele Pulse hintereinander in einen Schweißpunkt ein. Auf der Mikroebene ist zu erkennen, dass es sich nicht um eine klassische Schweißung handelt (keine intermetallischen Phasen), vielmehr erzeugen die Pulse eine Art Mini-Klettverschluss (= Formschluss): Die Fügepartner halten mechanisch zusammen und die Übergangswiderstände sind gering. Auf diese Art sind Kontaktierungen artfremder Metalle (zum Beispiel Aluminium mit Kupfer) kein Problem und Metallfolien und Membrane werden gefügt, ohne sich zu verformen. Darüber hinaus lassen sich Folien natürlich auch per Laser schneiden.

Rechts: Lasermarkierungen auf unterschiedlichen Ebenen bei einem Schutzschalter.

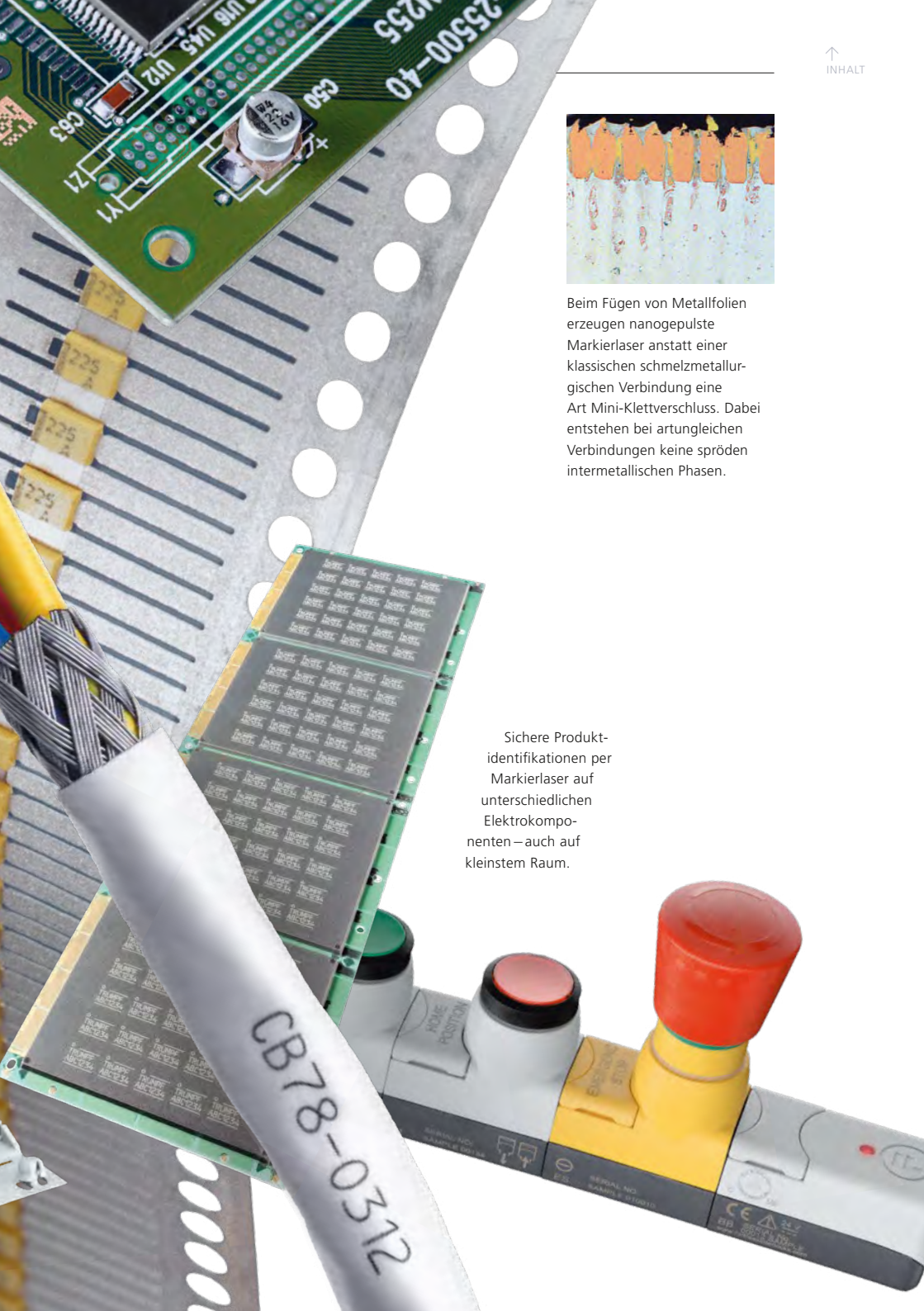






Beim Fügen von Metallfolien erzeugen nanogepulste Markierlaser anstatt einer klassischen schmelzmetallurgischen Verbindung eine Art Mini-Klettverschluss. Dabei entstehen bei artungleichen Verbindungen keine spröden intermetallischen Phasen.

Sichere Produktidentifikationen per Markierlaser auf unterschiedlichen Elektrokomponenten – auch auf kleinstem Raum.







- Jeans
- BabyProtect
- Shirts 15 min.
- Sport
- 10 min.
- 20 min.
- 40 min.



## 1.7 WEISSE WARE UND KONSUMGÜTER

### BESONDERE HERAUSFORDERUNGEN DER BRANCHE

Es gibt fast kein Material, das sich mit dem passenden Laser nicht markieren lässt. Dementsprechend lassen sich überall Anwendungsfelder für Markierlaser finden. Die Aufgabe besteht oft darin, sie zu identifizieren.

- Die Beschriftungsfelder können **sehr klein** sein – beispielsweise für Uhren –, aber auch **sehr groß**, etwa für Waschmaschinen.
- Auch **Losgrößen variieren**: Beim Markieren in der Massenproduktion, also bei weißer Ware oder Haushaltsgütern wie Töpfen, müssen sowohl eine hohe Produktivität als auch die Integrationsfähigkeit in Fertigungslinien gewährleistet sein.
- Die **Individualisierung** ist ein Megatrend, den speziell die Konsumgüterindustrie aufgreift. Individualisierte Produkte wie Schmuck, Handys oder Taschen werden häufig in **Losgröße 1** produziert – ein ideales Einsatzfeld für das extrem flexible Werkzeug Laser: Es ermöglicht ganz neue Geschäftsmodelle wie zum Beispiel die individualisierten Daten, die Verbraucher auf ihrem Produkt haben möchten, direkt zu markieren. Hierzu kann der Laser die Daten der Datenbank, zum Beispiel aus dem Onlineshop, direkt ziehen und dann auf das Produkt aufbringen.
  - Konsumgüter sind im ständigen Gebrauch. Daher ist eine gute **Qualität** der Markierung sicherzustellen. Auch der Preis spielt in diesem Segment eine Rolle: Laser überzeugen hier durch extreme Flexibilität, Energieeffizienz und verschleißfreies Arbeiten ohne Verbrauchsmaterialien. Das amortisiert die Anfangsinvestition in der Regel rasch.



Markierungen  
auf Lebens-  
mitteln, Küchen-  
geräten  
und Sanitär.

## ANWENDUNGEN

### Nutzbarkeit, Kennzeichnung und Plagiatsschutz

Die wohl häufigste Anwendung im Konsumgüterbereich sind **funktionale Markierungen**, die die Nutzung eines Produkts erleichtern oder Markierungen zur **Kennzeichnung**. Durchgängige Rückverfolgbarkeit ist bei Haushaltsgeräten und Konsumgütern derzeit nur eine seltene Anforderung, jedoch gewinnen **QR-Codes** oder **Data Matrix Codes (DMC)** aus einem anderen Grund an Bedeutung: Viele Dinge des Alltags werden smart und DMC können viele Informationen speichern. Von der schnell zu erreichenden Online-Bedienungsanleitung bis hin zu Benachrichtigungen im Servicefall.



Markierungen, die die Nutzung des Produkts unterstützen, an einer Waschmaschine und auf einer Staubsaugertaste.



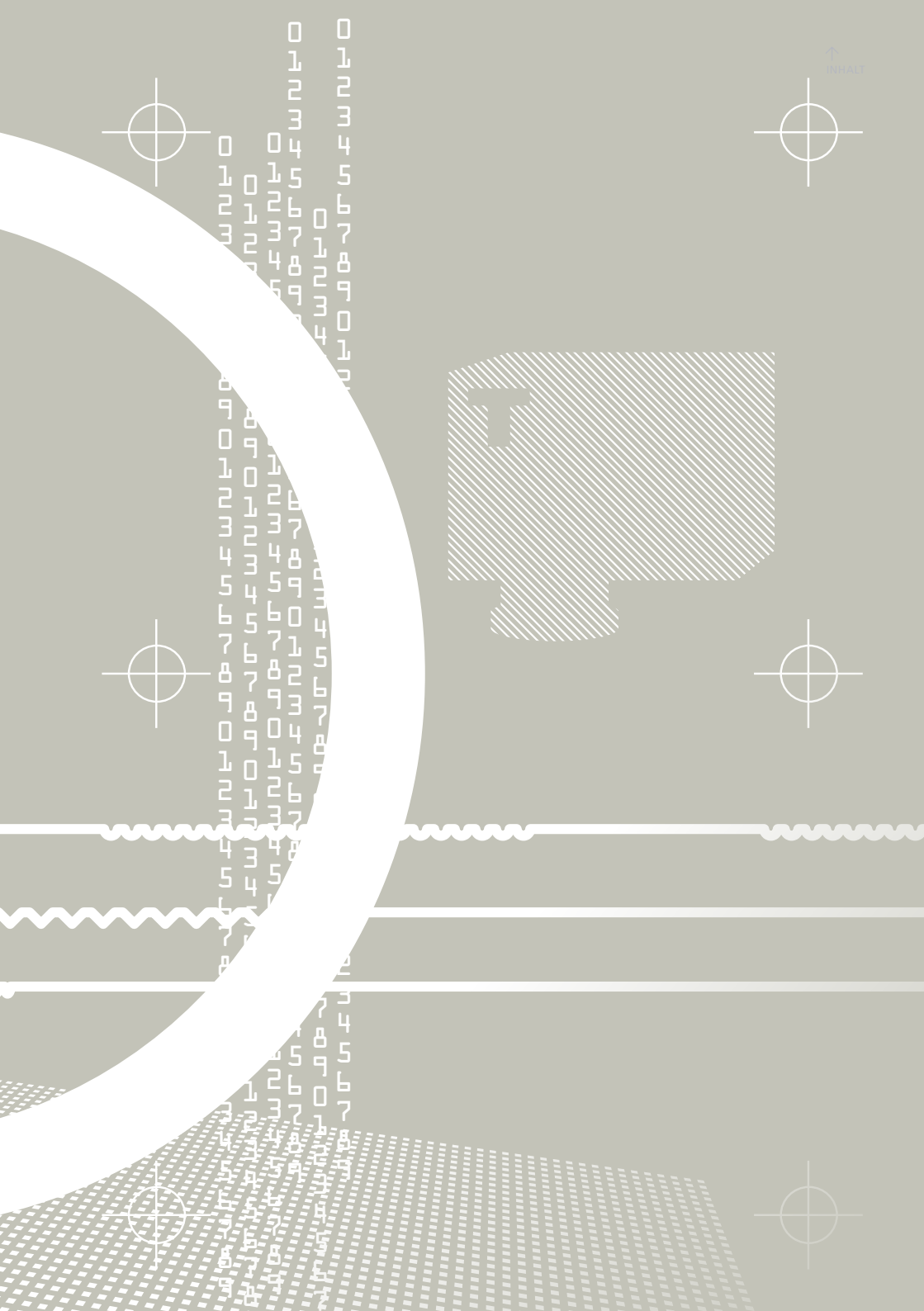
Rasierergehäuse,  
Wasserhahn und Topf:  
Lasermarkierungen für  
Produktbezeichnung,  
Anwendungsbedingungen  
und Plagiatsschutz.



Hier kann eine maschinen- und smartphonelesbare Markierung mit Anbindung an eine Datenbank die Lösung sein. Einen eigenen Themenbereich stellen Markierungen zum Plagiatsschutz im Material oder an definierten Stellen dar. Zudem gibt es in der Lebensmittelindustrie den Trend, Obst und Gemüse direkt per Laser zu markieren, um zum Beispiel das Biosiegel oder andere Informationen direkt auf der Schale aufzubringen. Damit entfallen problematische Verpackungen und der Kunde hat einen ästhetischen Zusatznutzen.

## DESIGN UND INDIVIDUALISIERUNG

Gerade im Konsumgüterbereich spielt Design natürlich eine herausragende Rolle, um sich von Konkurrenzprodukten zu unterscheiden und dem Kunden einen **ästhetischen Mehrwert** zu bieten. Hier spielen Markierlaser, die nahezu jedes Material beherrschen, eine immer größere Rolle. Ein weiterer Trend ist das Individualisieren von Waren, zum Beispiel mit dem eigenen Namenszug auf Handys, Tablets, Taschen oder Trinkflaschen. Auch hier kommen Markierlaser zum Einsatz, weil Losgröße 1 für sie kein Problem ist. Auch im Rahmen von Messen, Eröffnungen, Feiern oder Sonderaktionen können Veranstalter mit einem Markierlaser vor Ort Gäste und Kunden durch ein individualisiertes Geschenk beeindrucken.



---

## 2. **GRUNDLAGEN DES LASERMARKIERENS**

Der Markierlaser als Werkzeug empfiehlt sich für eine große Anzahl von Verfahren und Werkstoffen. Es liegt dabei auf der Hand, dass nicht jedes Verfahren kompatibel mit jedem Material ist. Um das optimale Ergebnis zu erzielen, sollte stets in die Überlegungen einfließen, welches Ziel erreicht werden soll. Davon lässt sich die richtige Anwendung ableiten.



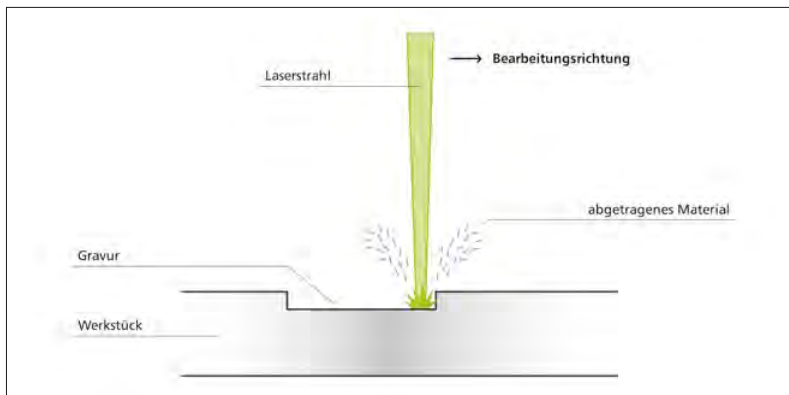


## 2.1 METALLE

Metalle sind gekennzeichnet durch ihre feste Gitterstruktur und frei bewegliche Elektronen. Sie bewirken, dass Metalle undurchsichtig sind und elektrischen Strom leiten. Trifft ein Laserstrahl auf die Oberfläche eines Metalls, wird ein bestimmter Anteil des Lichts absorbiert und es entsteht eine Wechselwirkung mit den Elektronen. Je nach Intensität und Einwirkzeit des Laserlichts löst der absorbierte Anteil eine Erwärmung der Oberfläche beziehungsweise das Schmelzen und Verdampfen des Werkstoffs aus.

### TIEFENGRAVUR

Im Werkzeug- und Formenbau oder bei der Nachbearbeitung beziehungsweise nachträglichen Lackierung des markierten Bauteils muss eine Lasergravur mit größerer Tiefe bis in den Millimeterbereich eingebracht werden. Typische Anwendungsfälle sind etwa Spritzgusswerkzeuge, Stanz- und Prägwerkzeuge. Aber auch für die Gravur von Fahrzeugidentifikationsnummern hat sich die Tiefengravur bewährt.



Beim Gravieren mit Nanosekundenlaser schmilzt ein Teil des Materials, der andere Teil verdampft.



Video: Gravieren von Buntmetallen:  
[www.trumpf.info/19libj](http://www.trumpf.info/19libj)



Video: Gravieren von Gussaluminium  
[www.trumpf.info/wrpsa6](http://www.trumpf.info/wrpsa6)

### GRAVUR UND SCHWARZGARVUR

Gravierte Markierungen werden durch einen kombinierten Schmelz- und Verdampfungsabtrag ins Material eingebracht. Die Leistungsdichte des Laserstrahls ist dabei so hoch, dass der Werkstoff während der Bearbeitung schmilzt und teilweise verdampft. Der dabei entstehende Dampfdruck treibt die Schmelze aus und es bildet sich ein Schmelzgrat am Rand (Materialaufwurf). Dies ist charakteristisch für Nanosekundenlaser. Mit UltrakurzpulsLasern dagegen ist eine gratfreie Gravur möglich. Das Material verdampft direkt, es entsteht eine Vertiefung, die Gravur.

Diese Art der Markierung ist sehr verschleißfest. Bei Metallen bilden sich durch die Wechselwirkung des aufgeschmolzenen Grundmaterials mit dem Luftsauerstoff Oxide, die sich farblich absetzen. Die zumeist recht raue Oberfläche absorbiert viel Licht, weswegen die Markierung im Normalfall schwarz oder je nach Material dunkelgrau (Aluminium) oder dunkelbraun (Stahl, Messing, Kupfer) erscheint. Bedingt durch diese Färbung wird hier oft von einer Schwarzgravur gesprochen.



Prägestempel mit Gravur.



Schwarz- und Weissgravur bei einem Datamatrixcode.



Video: Gravieren von verzinktem Stahl:  
[www.trumpf.info/ylmo9x](http://www.trumpf.info/ylmo9x)

## WEISSGRAVUR

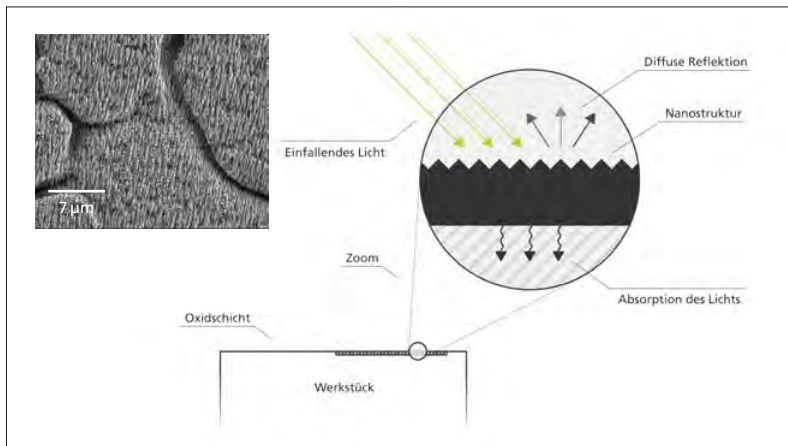
Bei einer Weißgravur wird die Oberfläche so strukturiert, dass das Material nur leicht angeschmolzen wird. Es entsteht eine glatte, stark reflektierende Oberfläche – bei Material wie verzinktem Stahl tritt diese als weiße Markierung hervor. Durch die geringe Eindringtiefe bleibt die Beschichtung intakt, die Korrosionsbeständigkeit damit unangetastet. Gerade auf dunklen Metallen wie gehärtetem Stahl erweist sich eine solche Weißgravur von Vorteil, da der hohe Kontrast dazu führt, dass sie gut lesbar ist. Auch für Komponenten, deren Oberflächen durch reguläre Gravuren zu stark beeinflusst würden, eignet sich das Verfahren aufgrund der geringen Eindringtiefe im Mikrometerbereich.

## ANLASSBESCHRIFTEN UND SCHWARZMARKIEREN MIT ULTRAKURZPULSLASER

Eine **Anlassbeschriftung** erwärmt das Material lokal bis knapp unter seinen Schmelzpunkt. Dabei werden Oxidschichten an der Werkstückoberfläche generiert, womit metallische Anlassfarben verbunden sind. Der Kontrast und die Farbe sind abhängig von der Oxidschichtdicke. Die Oberflächenbeschaffenheit bleibt vollständig erhalten. Außerdem wird sie überall dort vor anderen Verfahren bevorzugt, wo Passungen eingehalten werden müssen oder kein Materialaufwurf entstehen darf. Eine Anlassbeschriftung ist nur bei Metallen möglich, die unter Einfluss von Wärme und Sauerstoff ihre Farbe ändern, also bei Stählen und Titan, aber nicht Aluminium oder Buntmetallen. Hartmetall kann ebenfalls nicht mit dunklem Kontrast anlassbeschriftet werden.

Hier ist mit Nanosekundenlasern lediglich eine helle Verfärbung möglich oder aber eine Schwarzmarkierung mit Ultrakurzpulslasern.

Das **Schwarzmarkieren** (auch: Black Marking) ist ein Markierlaserverfahren, das zu äußerst kontrastreichen dunklen Beschriftungen führt. Ultrakurze Laserpulse strukturieren die Oberfläche mit sogenannten Nanoripples oder LIPSS (Laser Induced Periodic Surface Structures). Diese strukturierte Oberfläche sorgt dafür, dass die Lichtreflektion reduziert wird. Es entsteht eine matte und blickwinkelunabhängige tiefe Schwärzung der Markierung. Schwarzmarkierungen eignen sich für rostfreie Edelstähle, Aluminium, Titan, Kupfer, Messing oder verchromte Kunststoffe.



Prinzip des Black Markings mit Ultrakurzpulslasern.

### Einsatz des Ultrakurzpulslasers

In den allermeisten Einsatzfällen des Schwarzmarkierens, gerade im Medizintechnikbereich, muss eine Markierung auf Edelstahl korrosionsbeständig sein. Das lässt sich durch den Einsatz von Ultrakurzpulslasern mit einer Pulsdauer im Bereich von Piko- oder Femtosekunden erreichen. Die Dauer des Energieeintrags ist so gering, dass der Temperaturtransport zu den angrenzenden Atomen erst gar nicht zustande kommt. Der Wärmeeintrag ist während der Oberflächenstrukturierung im Nanometerbereich sehr gering. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer „kalten Bearbeitung“. Neben der Oberflächenstrukturierung spielt eine Chromoxidverbindung die zweite zentrale Rolle beim korrosionsbeständigen Schwarzmarkieren von Edelstahl: Durch die geringere Wärmeeinwirkung im Vergleich zur Anlassbeschriftung mit Nanosekundenlasern verbleibt genug freies Chrom in der Oberfläche, das den Selbstheilungsprozess der Passivschicht fördert. Es entstehen korrosionsbeständigere Oxidverbindungen an der Oberfläche.

## Prozessqualifizierung

Um die Lesbarkeit und Haltbarkeit von Schwarzmarkierungen langfristig zu sichern, selbst wenn sie, wie im Falle von medizintechnischen Geräten, mit scharfen Reinigungsmitteln und hohen Temperaturen in Berührung kommen, empfiehlt es sich, auf eine gezielte Passivierung zurückzugreifen. Hierbei entfernt ein Säurebad aus Salpeter- oder Zitronensäure reaktionsfreudige Bestandteile der Oberfläche wie freie Eisenionen und unterstützt das saubere, schnelle Wachstum einer neuen Chromoxidschicht für eine noch bessere Korrosionsbeständigkeit. Gleichzeitig wird während des Verfahrens die Oberfläche gereinigt und Sulfide werden aufgelöst. Das Ziel muss stets eine Lasermarkierung sein, die sowohl der Passivierung als auch fortlaufenden Reinigungsprozessen standhält. Bei exakter Parameterauswahl kann sogar auf eine Passivierung verzichtet werden. Dafür sind Ultrakurzpulslaser bestens geeignet. Dabei gilt es eine Vielzahl von Einflüssen miteinzubeziehen. Es handelt sich grob zusammengefasst um

- die chemische Zusammensetzung des Materials,
- die Oberflächenbeschaffenheit des Materials,
- die Reinheit der Oberfläche und
- den eventuellen Passivierungsprozess.

Um diese Faktoren optimal zu evaluieren und in die Prozessgestaltung miteinzubeziehen, empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

1. Studie der Parameter (eventuell mit verschiedenen Lasertypen)
2. Analyse der Korrosionsbeständigkeit und Passivierungsstabilität  
(kein Ausbleichen der Markierung)
3. Definition eines Prozessfensters
4. Korrelation zwischen Laserparametern, Oxidschichtstruktur  
und Korrosionsbeständigkeit



Black Marking ermöglicht Kennzeichnungen verschiedenster Art, die auch nach etlichen Reinigungs- und Passivierungszyklen noch gut lesbar sind und eine höhere Korrosionsresistenz aufweisen.

### Einsatz des Nanosekundenlasers

In der Realität eines Fertigungsprozesses kann es Gründe dafür geben, dass kein Ultrakurzpuls-Laser angeschafft werden kann, aber trotzdem schwarzmarkiert – in diesem Fall mittels Anlassbeschriftung – werden muss. Das Ergebnis ist auch in diesen Fällen gut, kann allerdings korrosionsanfälliger sein beziehungsweise das optimal geeignete Prozessfenster ist kleiner. Durch eine geschickte Gestaltung des Prozesses ist es auch mit Nanosekundenlasern möglich, die Korrosionsbeständigkeit zu erhalten. Damit die Oberfläche der Beschriftung nicht aufschmilzt, sollten schwache Laserparameter genutzt werden. Zwei bis vier Überläufe führen zu einem homogenen Schichtwachstum und somit zu einer guten Lesbar- und Haltbarkeit. Eine Anlassbeschriftung mit Nanosekundenlaser ist allerdings weniger mattschwarz und reflektiert das Licht etwas stärker. Es ergibt sich eine gewisse Blickwinkelabhängigkeit.



Anlassbeschriftung auf abgerundeter Oberfläche.

### BESCHRIFTEN VERCHROMTER BAUTEILE

Beim Markieren von verchromten Materialien (zum Beispiel Badezimmerarmaturen) wird eine Weißgravur durchgeführt. Die Oberfläche wird hierbei mit kurzen Pulsen im Nanosekundenbereich nur leicht angeschmolzen, damit die Chromschicht erhalten bleibt. Eine Delamination kann so verhindert werden. Durch den Einsatz von Ultrakurzpuls-Lasern und der damit verbundenen Oberflächenstrukturierung kann auch eine schwarze Beschriftung erreicht werden, ohne eine Delamination herbeizuführen.

## ELOXALSCHICHTEN

Markierungen auf eloxierten oder galvanisierten Materialien werden oft aufgebracht, indem die betreffende Oberflächenschicht bis zum Basismaterial abgetragen wird. Da die Eloxalschicht zumeist dunkel ist, entsteht so eine helle, gut erkennbare Beschriftung. Bei transparentem oder natur-eloxiertem Aluminium ist es auch möglich, die transparente Eloxalschicht zu durchdringen und die Beschriftung an der Grenzschicht beschädigungsfrei durchzuführen. Da in diesem Fall unter der eigentlichen Oberfläche markiert wird, ist das Ergebnis absolut korrosionsbeständig, dabei aber sehr kontrastreich (schwarz).



Video: Abtragen von eloxiertem Aluminium  
[www.trumpf.info/c7us5y](http://www.trumpf.info/c7us5y)

## OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

Neben Beschriftungen aller Art eignet sich der Markierlaser für eine Vielzahl von Oberflächenbearbeitungsprozessen – insbesondere von metallischen Werkstoffen. Diese lassen sich grundsätzlich in drei Hauptkategorien einteilen:

- Reinigen: Der Laser entfernt unerwünschte Schichten auf dem Bauteil, entweder lokal oder großflächig. Hierzu gehören etwa das Verdampfen von Ölen, Fetten, Oxiden sowie das Entfernen von Rückständen in Formen.
- Schichtabtrag: Der Laser entfernt prinzipiell erwünschte Schichten auf dem Bauteil an genau definierten Stellen. Hierzu gehört etwa das Entschichten und Entlacken.
- Strukturieren: Der Laser verändert die Eigenschaften der Oberfläche signifikant. Hierzu gehört etwa das Aufrauen und das Verändern tribologischer Eigenschaften.

*Mehr zu den Vorteilen, die der Markierlasereinsatz den Anwendern bietet, finden Sie in Kapitel 1.3 „Prozessvorbereitung / Oberflächenbehandlung“.*





## 2.2 KUNSTSTOFFE

Kunststoffe sind synthetisch erzeugte organische Werkstoffe. Sie bestehen aus Kohlenwasserstoffverbindungen, die zu Makromolekülen zusammengelagert sind. Die einzige Ausnahme bilden siliziumorganische Verbindungen. Man unterteilt die Kunststoffe nach ihrem inneren Aufbau in drei Gruppen.

### THERMOPLASTE

Thermoplaste bestehen aus fadenförmigen Makromolekülen, die ineinander verschlungen sind und keine Quervernetzungen besitzen. Bei Raumtemperatur sind Thermoplaste hart. Mit steigender Temperatur werden sie zuerst weich, dann flüssig, schließlich zersetzen sie sich. Im weichen oder flüssigen Zustand sind sie fast beliebig verformbar.

### DUROPLASTE

Duroplaste bestehen aus Makromolekülen, die an vielen Vernetzungsstellen engmaschig miteinander verknüpft sind. Bei Erwärmung verändern sie ihre mechanischen Eigenschaften nur wenig, da die Quervernetzungen keine Verschiebung der Makromoleküle zulassen. Bei sehr starker Erwärmung zersetzen sich Duroplaste, ohne vorher weich oder flüssig zu werden.

### ELASTOMERE

Elastomere sind gummielastische Kunststoffe. Sie sind aus Makromolekülen aufgebaut, die weitmaschig miteinander verknüpft sind. Durch Erwärmung verändert sich das gummielastische Verhalten nur wenig. Auch Elastomere zersetzen sich bei zu starker Erwärmung, ohne vorher flüssig zu werden.

### ZUSATZSTOFFE

In die Grundstrukturen der Kunststoffe sind Zusatzstoffe unterschiedlichster Art eingelagert:

- Füllstoffe wie Ruß, Quarz, Glasfasern
- Verarbeitungshilfsstoffe wie Gleitmittel
- Additive wie chemische Stabilisatoren oder Flammschutzmittel
- Lösliche organische Farbstoffe
- Farbgebende Pigmente

Die Kombination der Zusatzstoffe entscheidet, wie gut ein Kunststoff mit dem Laser beschriftet werden kann. Oft lassen sich die Beschriftungseigenschaften durch die geringfügige Veränderung eines Zusatzstoffs—zum Beispiel eines Farbstoffs—deutlich verbessern. Entscheidend ist immer, dass die Wellenlänge des Lasers vom Material absorbiert werden kann.

## MARKIERLASERVERFAHREN

Man unterscheidet vier verschiedene Arten des Markierlasereinsatzes bei Kunststoffen:

- Farbumschlag der Oberfläche (Verfärben, Bleichen oder Karbonisieren)
- Gravieren (Materialabtrag von Matrixmaterial der Oberfläche)
- Oberflächenänderung (Schäumen oder Schmelzen)
- Abtragen von Schichten (zum Beispiel Lack)

## ABSORPTIONSVERHALTEN

Die Wechselwirkung von Laserstrahl und Werkstoff ist variantenreich. Wichtig für den Einsatz des Markierlasers ist, dass die Strahlung ausreichend absorbiert wird.

Bei Metallen wird der größte Anteil reflektiert, während bei Kunststoffen neben der Absorption die Transmission oder auch diffuse Reflektion eine größere Rolle spielt.

Die geringe Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen führt zu geringen Energieverlusten während des Beschriftungsprozesses. Dadurch können wesentlich höhere Beschriftungsgeschwindigkeiten erzielt werden als bei Metallen.

Das makromolekulare Grundgerüst – die Matrix – der Kunststoffe absorbiert in der Regel im ultravioletten und im fernen Infrarotbereich, die verschiedenen Zusatzstoffe hingegen in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen. Zusatzstoffe wie Ruß absorbieren im nahen Infrarotbereich, Farbstoffe eher im sichtbaren Bereich, sie können also auch die Wellenlänge des Festkörperlasers aufnehmen. Da Laser unterschiedlicher Wellenlänge verfügbar sind, kann die optimale Wellenlänge für das jeweilige Material ausgewählt werden.

## ADDITIVE

Um den Anforderungen an eine gute Lesbarkeit und hohe Beschriftungsqualität gerecht zu werden, empfiehlt es sich, einigen Industriekunststoffen lasersensitive Additive hinzuzufügen. Diese verändern die chemische Zusammensetzung der Kunststoffe, um das Material applikations- beziehungsweise produktspezifisch anzupassen. Die spezifischen optischen, thermischen, physikalischen und elektrischen Eigenschaften der Kunststoffe bleiben dabei weitgehend erhalten. Üblicherweise verhalten sich Laseradditive farbneutral. Beispielsweise handelt es sich bei ihnen um passive Pigmente, etwa in Form winziger Glimmerplättchen, die in geringer Konzentration dem Material beigemischt werden. Das verbessert die Absorption der Laserstrahlung einer bestimmten Wellenlänge (üblicherweise konzipiert für 1.064 nm) im Material. Neben dem Farbkontrast kann auch die Bearbeitungsgeschwindigkeit durch Laseradditive erhöht werden.

## WELLENLÄNGEN

Die Rolle der Laserwellenlänge ist in jedem Fall von besonderer Wichtigkeit bei der Beschriftung von synthetischen Werkstoffen, wenn der am besten geeignete Laser für eine spezielle Anwendung ausgewählt werden soll. Die Absorption wird stark von Additiven beeinflusst. Die Materialpalette der gut beschriftbaren Kunststoffe erweitert

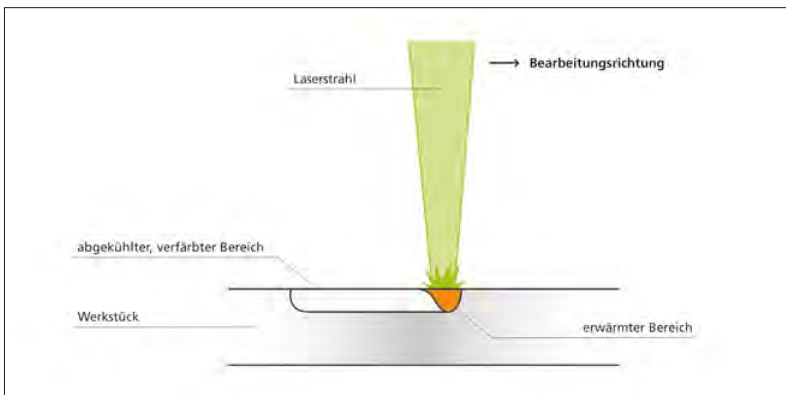
sich, wenn frequenzverdoppelte (532 nm, grün) oder -verdreifachte Festkörperlaser (355 nm, UV) mit herangezogen werden, die oft bessere Ergebnisse zeigen als die Standardsysteme mit einer Wellenlänge von 1.064 oder 1.030 nm.

### WELCHE KUNSTSTOFFE SIND MIT ÜBLICHEN NANOSEKUNDENLASERN DER WELLENLÄNGE 1.064 NM MARKIERBAR?

Gute Beschriftungsergebnisse ohne Additive	Mittlere Beschriftungsergebnisse ohne Additive, aber gute Beschriftungsergebnisse mit Laseradditiven (farbabhängiges Verhalten)		Nicht beschriftbar oder nur mit speziellen Additiven
ABS	PS	PES	Polyester
PC	PI	PEI	PU
PPSU	PETP	PES	Polyolefine (PEHD, PP)
PBT	POM	PE	PMMA
PBTP	PPS	PA	PTFE
Styrol (SAN)	ASA	PVC	
PEEK		TPE	
UREA			

### FARBUMSCHLAG UND KARBONISIEREN

Farbmoleküle können selektiv ausgebleicht oder ihre Farbe kann verändert werden. Durch die Energie des Laserstrahls werden gezielt einzelne Moleküle—zum Beispiel die Farbpigmente—zerstört oder in ihrer Struktur verändert. Das Verfahren ist für Werkstoff und Oberfläche besonders schonend: Die Oberfläche bleibt weitgehend unversehrt und glatt. Wenn Material und Wellenlänge gut aufeinander abgestimmt sind, etwa



Farbumschlag: Die Laserenergie ändert gezielt einzelne Moleküle und führt damit einen Farbumschlag herbei



Video: Verfärbn von Kunststoff  
[www.trumpf.info/u6e8lx](http://www.trumpf.info/u6e8lx)

durch den Einsatz lasersensitiver aktiver Pigmente, kann dieser Effekt auch bei 1.064 nm auftreten. Meist karbonisiert der Kunststoff aber bei dieser Wellenlänge bereits in der Matrix. Beim Karbonisieren verbrennt beziehungsweise verkohlt der kohlenstoffhaltige Kunststoff praktisch an der Oberfläche. Üblich ist Karbonisieren bei der Beschriftung von hellen Kunststoffen mit einer Eindringtiefe bis zu 200 µm. Bei transparenten Materialien wie Polycarbonat tritt je nach Laserlichttransparenz und Eindringtiefe der Laserstrahlung teilweise eine Art Schatteneffekt in der Tiefe auf.

### FLAMMHEMMENDE KUNSTSTOFFE

Die Beschriftung flammgeschützter Kunststoffe etwa in der Elektronik stellt einen Spezialfall dar, da sie per Definition unempfindlich gegen Hitzeeinwirkung sein sollen. Auch hier ist es wie bei der Bearbeitung anderer Kunststoffe wichtig, dass Material und Wellenlänge optimal aufeinander abgestimmt sind. In diesem Fall empfiehlt sich etwa der Einsatz eines UV-Lasers. Auf hellen Materialien lassen sich mit ihm dunkelgraue Markierungen einbringen. Die Verfärbung wird durch das Aufbrechen chemischer Bindungen hervorgerufen, da die Photonen bei der kleinen Wellenlänge eine hohe Energie aufweisen. Da das Material nicht verbrennt und karbonisiert, spricht man von „kalter Markierung“ mit hoher Oberflächenqualität.



Lasermarkierungen ...



... per Farbumschlag



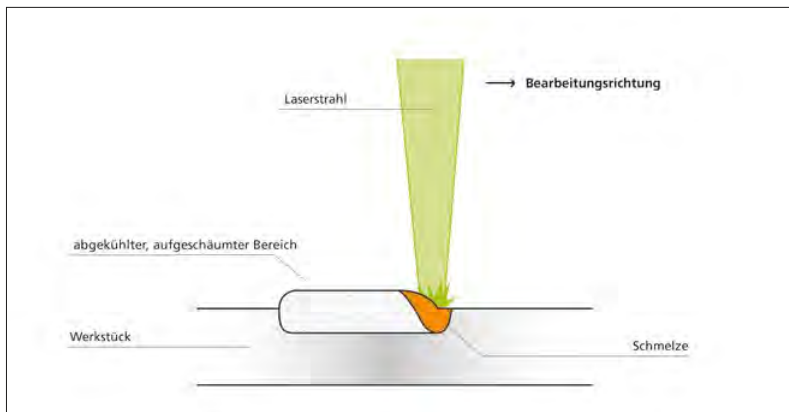
Markierung auf flammhemmendem Kunststoff.



Aufschäumen

## AUFSCHÄUMEN

Mittels des Aufschäumverfahrens lassen sich erhabene Markierungen in Kunststoff einbringen. Hierzu schmilzt der Laser gezielt das Matrixmaterial auf, wobei Gasbläschen entstehen, die beim Abkühlen eingeschlossen werden. Die so entstehende erhabene Markierung ist circa 20 bis 40 µm hoch, relativ breit und bringt eine relativ geringere Ortsauflösung mit sich, eignet sich also eher für Markierungen mit geringeren Anforderungen an Präzision. Das Licht wird diffus reflektiert und die Markierung auf dunklem Kunststoff erscheint hell. Als erstarrter Schaum ist diese Art der Markierung im Vergleich weniger kratzfest, da die Beschriftung aber bis zu 80 µm in das Material eindringt, bleibt die grundsätzliche Lesbarkeit üblicherweise dennoch langfristig erhalten. Allerdings kann sich, falls die Oberfläche offenporig bleibt, im Laufe der Zeit Schmutz einlagern und die Beschriftung dadurch an Kontrast verlieren. Das Aufschäumen ist nicht bei allen Kunststoffen möglich und wird üblicherweise bei schwarzen beziehungsweise dunklen Farben eingesetzt.



Beim Aufschäumen entstehen erhabene Markierungen.



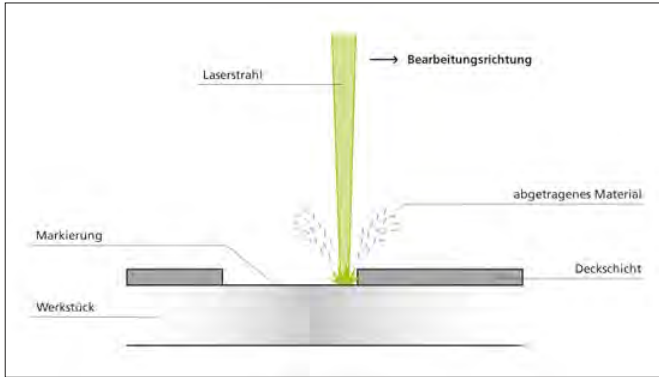
Video: Schäumen von Kunststoff PA6  
[www.trumpf.info/cn8srk](http://www.trumpf.info/cn8srk)



Video: Schäumen von Kunststoff POM  
[www.trumpf.info/jxtb2i](http://www.trumpf.info/jxtb2i)

## ABTRAGEN EINER DECKSCHICHT

Mehrschichtige oder lackierte Kunststoffe können durch Abtragen einer dünnen Deckschicht beschriftet werden. Der Kontrast kommt durch die Farbe des darunterliegenden Grundmaterials oder Basislacks zustande. Entfernt werden dabei Lacke oder spezielle Schichten bei Laser-Beschriftungsfolien. Für eine qualitativ hochwertige Beschriftung sollten Deckschicht und Trägermaterial einen hohen Kontrast, gutes Absorptionsvermögen für die Wellenlänge des Lasers und eine sehr homogene Schichtdicke aufweisen.



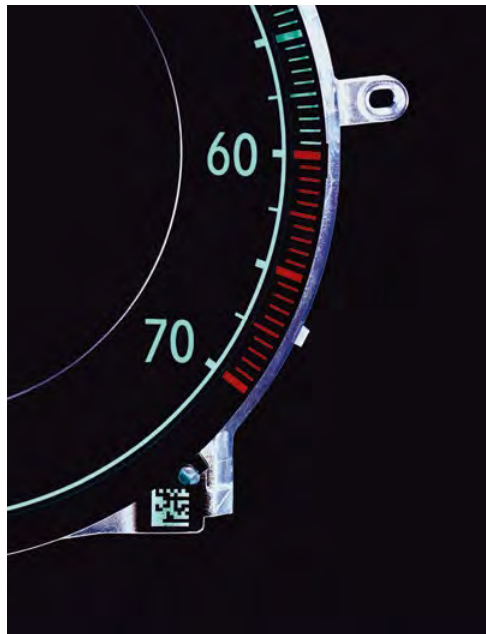
Beim Abtragen entfernt der Laser eine Deckschicht. In der Markierung wird der darunterliegende Grundwerkstoff sichtbar.



Markierung durch Laserabtrag.

### Tag-Nacht-Design

Ein Beispiel für Komponenten, die durch Schichtabtrag markiert werden können, sind Bedienelemente im Tag-Nacht-Design wie Tasten im Interieur eines Fahrzeugs. Bei Tageslicht sind die Symbole weiß und bei Nacht werden sie von hinten durchleuchtet. Diese Art der Beschriftung ist verfahrenstechnisch aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der eingesetzten Lacke oder teilweise hochglänzender Oberflächen sehr komplex. In jedem Fall darf beim Abtragen des Decklacks das semitransparente Grundmaterial nicht beschädigt werden. Daher wird üblicherweise zweischichtig gefahren. Der erste Arbeitsgang lässt einen kleinen Rest des Lacks übrig, der im zweiten Schritt bei reduzierter Laserleistung entfernt wird. Für Tag-Nacht-Designs stehen Laser mit hoher Puls-zu-Puls-Stabilität zur Verfügung, um einen exakten und homogenen Schichtabtrag zu gewährleisten.



Ein Beispiel für Tag-Nacht-Design.



## Laserbeschriftungsfolie

In manchen Fällen ist eine Direktbeschriftung etwa aufgrund der Materialeigenschaften oder aus produktionstechnischen Gründen nicht möglich. Alternativ werden Etiketten aus selbstklebenden Laserbeschriftungsfolien eingesetzt, die mit dem Laser auf das benötigte Format zugeschnitten und markiert werden können. Meistens bestehen diese Etiketten aus speziellen Acrylatfolien mit Zweischichtaufbau, bei denen die oberste Schicht mit dem Laser abgetragen wird und die zweite Schicht dann die Information erzeugt (Abbrandfolien). Die Folien sind in unterschiedlichen Farbkombinationen erhältlich und weisen eine hohe Beständigkeit gegen Chemikalien, Temperatur und Umwelteinflüsse auf.

Neben derartigen Folien, bei denen die Deckschicht abgetragen wird, gibt es auch emissionsfreie Farbumschlaglabel. Die Beschriftung erfolgt durch einen irreversiblen Farbumschlag von lasersensitiven Pigmenten im Labelmaterial. Gegenüber der Abbrandfolie ist die Prozessgeschwindigkeit höher und es entstehen durch das Ausbleiben des Materialabtrags keine Emissionen. Damit entspricht das Verfahren vielen hygienischen beziehungsweise lebensmittelrechtlichen Anforderungen.



Video: Abtragen von Kunststoffolie  
[www.trumpf.info/52av7t](http://www.trumpf.info/52av7t)

## Leiterplatten

Gerade in der Leiterplattenfertigung müssen Kennzeichnungen im Zuge der anhaltenden Miniaturisierung oft auf engstem Raum untergebracht werden – häufig handelt es sich dabei um kompakte Data Matrix Codes. Hier sticht der Laser aufgrund seiner Präzision gegenüber Tintenstrahl- oder Labelmarkierungsverfahren qualitativ deutlich heraus. Außerdem ist keinerlei Verbrauchs- oder Zusatzmaterial nötig. Je nach gewünschtem Ergebnis können verschiedene Laser eingesetzt werden. Die Wellenlänge des CO<sub>2</sub>-Lasers wird bei der Leiterplattenbeschriftung direkt vom Lötstopplack absorbiert und der Lack verfärbt sich weißlich. Da die Auflösung wesentlich höher ist, lassen sich mit dem Festkörperlaser allerdings erheblich feinere Markierungen einbringen. Auch der Kontrast ist im Vergleich zu CO<sub>2</sub>-Lasern in der Regel besser, da die Wellenlänge nicht in der Lötstopplackschicht direkt, sondern erst in der darunterliegenden Kupferschicht absorbiert wird, dort zu Erwärmung führt, der Lack komplett abgesprengt und die Kupferschicht freigelegt wird. Die Beschriftungsparameter müssen in beiden Fällen auf die Dicke der Lötstopplackschicht abgestimmt sein.

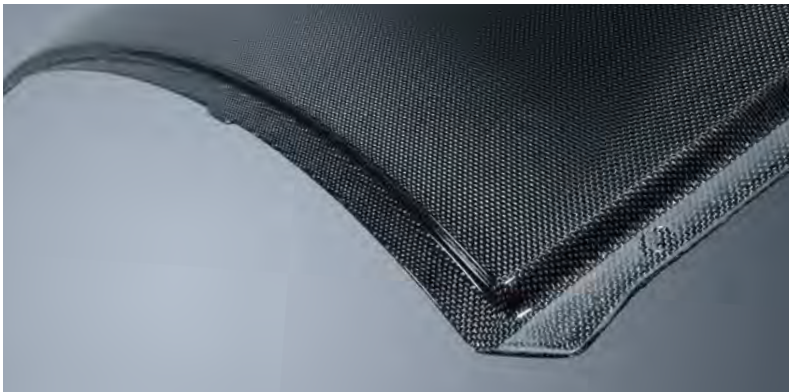
## 2.3 WEITERE NICHTMETALLE

Neben Metallen und Kunststoffen können auch Keramiken und gesinterte Mischverbindungen mit dem Laser beschriftet werden. Das Verfahren hat vor allem dort Vorteile, wo mechanische Prozesse aufgrund der hohen Werkstoffhärte an ihre Grenzen stoßen. Auf Naturwerkstoffen wie zum Beispiel Holz, Leder und Früchten ist aufgrund des partiell unterschiedlichen Absorptionsverhaltens eine gleichmäßige Markierung oft schwierig.

Die Verfahren sind dabei so unterschiedlich wie die Werkstoffe. Keramiken und andere sprödharte Materialien sowie Halbleiter werden graviert, abgetragen und gebohrt. Glas kann zusätzlich innenmarkiert werden. Faser-Verbund-Werkstoffe werden abgetragen und gebohrt. Bei natürlichen Materialien herrschen Farbumschläge vor, im Einzelfall kann auch perforiert werden (zum Beispiel Leder).

### CFK

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff, auch carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) genannt, ist ein Verbundwerkstoff, bei dem Kohlenstofffasern als Gelege oder Gewebe in eine Kunststoffmatrix eingebettet sind. Die Herausforderung in der Laserbearbeitung besteht darin, den empfindlichen Faserverbund nicht zu verletzen, da dies die Gesamtstabilität des Bauteils gefährdet.



Video: Laserbearbeitung von CFK  
[www.trumpf.info/ko26sp](http://www.trumpf.info/ko26sp)

### Oberflächenstrukturieren und Abtragen

Zur Herstellung von CFK-CFK- oder CFK-Metall-Verbindungen raut der Markierlaser die CFK-Oberfläche an, um sie für den Klebeprozess vorzubereiten. Zu den möglichen Anwendungen zählt außerdem das Freilegen von einzelnen Fasern oder die selektive Oberflächenbearbeitung des Matrixmaterials (etwa Epoxid).

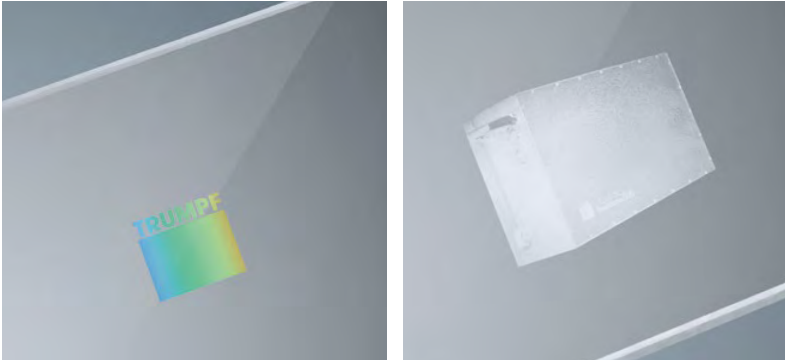
Mit infrarotem Laserlicht lassen sich ansehnliche Abtragraten bei akzeptabler Qualität realisieren. Allerdings gibt es hier eine deutliche Wärmeeinflusszone, da das Fasermaterial das infrarote Laserlicht nahezu vollständig absorbiert. Mit grüner Wellenlänge ist die Qualität deutlich besser, allerdings sind die Abtragraten etwas geringer. Mit ultravioletten Lasern lässt sich die beste Qualität erzeugen.

### **Markieren**

Schriftzüge, Codes oder Logos können bei CFK mittels Farbumschlag oder Gravur markiert werden. Für die Gravur gelten dieselben Bedingungen wie beim Abtragen. Ein Farbumschlag wird normalerweise in der Kunststoffmatrix erzeugt. Die Wahl der Parameter ist dabei vom Matrixmaterial abhängig. Generell erzielt der UV-Laser gute Ergebnisse, der Kontrast bleibt allerdings meist eher gering.

### **GLAS**

Glas ist durch seine Transparenz und seine amorphe Oberflächenstruktur für das Lasermarkieren ein schwieriger Werkstoff. Infrarotes Laserlicht wird so gut wie nicht absorbiert, es findet nur dann eine Wechselwirkung statt, wenn die Laserstrahlung extrem stark fokussiert auf das Werkstück trifft oder die Pulsspitzenleistung wie im Falle des UltrakurzpulsLasers sehr hoch ist. Auch mit IR-Lasern bei 1.030 nm Wellenlänge ist die Bearbeitung mit UltrakurzpulsLasern möglich. Dies liegt an der Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Materie, die sich deutlich von der Bearbeitung mit langen Pulsen unterscheidet. Im Falle von Glas werden zunächst freie Ladungsträger durch Multiphotonenabsorption erzeugt, die dann weiter Laserstrahlung absorbieren und durch Stöße lawinenartig viele neue freie Elektronen erzeugen (man spricht von Avalanche-Ionisation). Diese Prozesse verlaufen schnell im Vergleich zu Wärmeleitungsprozessen. Bei NanosekundenLasern werden frequenzverdreifachte Laser mit einer Wellenlänge von 355 nm eingesetzt. Das Glas absorbiert das Laserlicht dieser UV-Laser aufgrund der hochenergetischen Photonen ebenfalls sehr gut.



Markierungen im Glasinneren – links mit Hologrammeffekt.

### **Glasinnenmarkierung**

Liegt der Laserfokus nicht auf der Glasoberfläche, kann der Markierlaser das Material auch im Inneren beschriften. Hierfür wird der Fokus des Lasers unter die Glasoberfläche gelegt. Da die räumliche und zeitliche Energiedichte des gepulsten Laserstrahls im Fokus am höchsten ist, entstehen kleinste Mikrorisse im Glas, die das Licht weißlich diffus reflektieren lassen und dadurch eine Art „gefrostete“ Innenmarkierung sichtbar machen. Gezielt eingebrachte Nanoripples brechen das Licht sogar auf solche Weise, dass eine Art Regenbogeneffekt ähnlich wie bei einem Hologramm entsteht. Die Oberfläche des Glases bleibt in beiden Fällen unbeschädigt. Diese Markierung wird beispielsweise für Sicherheitsmerkmale verwendet. Oder bei Optiken – seien es winzige Markierungen in Brillen oder Linsen – damit die Oberfläche weiterhin glatt bleibt.

### **Dünnschichtabtrag**

Ist das Glas beschichtet, zum Beispiel bei einem metallisierten Spiegel, kann der Laser die Schicht gezielt abtragen und so eine Markierung erzeugen. Der Abtrag erfolgt dabei oft von der Rückseite aus, also durch das Glas hindurch. Die Wechselwirkung, die so an der Grenzfläche entsteht, sorgt dafür, dass die Schicht effizient abgetragen wird, ohne die Oberfläche des Glases zu schädigen.

## KERAMIK

Keramische Werkstoffe sind inert, anorganisch, nichtmetallisch und polykristallin. In der Regel werden sie bei Raumtemperatur aus einer aus Keramikpulver, organischem Binder und Flüssigkeit gebildeten Rohmasse geformt und erhalten ihre typischen Werkstoff-eigenschaften erst in einem Sintervorgang bei hohen Temperaturen. Technische Keramiken und auch andere sprödharte Materialien wie Saphir lassen sich mit konventionellen Verfahren sehr schwer bearbeiten. Ihre Vorteile wie chemische Stabilität, feste Gitterstrukturen, hohe Härte, gutes Isolationsverhalten oder hohe Kratzfestigkeit machen sie jedoch zu einem sehr wertvollen Werkstoff für die Elektronikfertigung (etwa für LEDs, Isolatoren oder Kondensatoren).

Eine typische Markierlaseranwendung ist das Gravieren von Aluminiumoxid-Keramikwafern. Je nach Wahl der Prozessparameter können Nanosekundenlaser rein weiße Tiefgravuren oder Gravuren mit einem sehr gut lesbaren Kontrast erzielen.

Die besondere Herausforderung liegt darin, Mikrorisse im Material zu vermeiden. Diese Risse entstehen, wenn zu viel Energie in das Material eingebracht und damit die vorhandene Gitterstruktur negativ beeinflusst wird. Es entstehen Gänge oder sogar Spannungen, die die Rissbildung begünstigen. Die Wärmeeinflusszone sollte also möglichst klein sein. Je nach Art der Keramik können sich für qualitativ hochwertige, kontrastreiche Markierungen eventuell grüne Markierlaser eignen, wenn das Material diese Wellenlänge sehr gut absorbiert—in den meisten Fällen sind aber IR-Laser bereits gut geeignet.

Pikosekundenlaser werden nur für Tiefgravuren verwendet, wenn die Wärmeeinflusszone sehr klein oder die Gravur sehr präzise sein soll. Außerdem kann mit Pikosekundenlasern die Produktivität gesteigert werden. Keramiken werden mit Pikosekundenlasern auch geschnitten oder angeritzt, um danach gezielt durchbrochen werden zu können (Ritzen und Brechen).



Gravur auf Keramik.

## SILIZIUM/HALBLEITER

Hochreines kristallines Silizium ist für die Mikroelektronik das am besten geeignete Grundmaterial. Das liegt weniger an seinen elektrischen als vielmehr an den chemischen, physikalischen und technisch nutzbaren Eigenschaften. Alle gängigen Computerchips, Speicher und Transistoren verwenden hochreines Silizium als Ausgangsmaterial. Diese Anwendungen beruhen auf der Tatsache, dass Silizium ein Halbleiter ist.

Durch die gezielte Einlagerung von Fremdatomen (Dotierung) wie beispielsweise Indium, Antimon, Arsen, Bor oder Phosphor können die elektrischen Eigenschaften von Silizium in einem weiten Bereich verändert werden.

Typische Anwendungen für Markierlaser sind das Gravieren von Codes oder Klartextkennzeichnungen mit Nanosekundenlasern auf Siliziumwafern.

IR-Laser haben in Silizium eine hohe Eindringtiefe, mit grüner Wellenlänge werden oft bessere Ergebnisse erzielt, da die Laserleistung oberflächlich absorbiert wird.

Um die in der Halbleiterindustrie geforderte Reinheit der Bauteile zu gewährleisten, ist Partikelfreiheit nach der Laserbearbeitung gefordert. Dies wird durch entsprechend gewählte Prozessparameter erreicht, insbesondere auf der Vorderseite der Wafer. Hier wird beim sogenannten Soft Mark die Oberfläche nur leicht weißlich verfärbt und minimal angeschmolzen, ohne dass Partikel entstehen. Auf der Rückseite der Wafer ist dagegen eine kontrastreichere dunkle Gravur (Hard Mark) möglich, da hier eine gewisse Partikelemission erlaubt ist. Die Gravur darf allerdings nur wenige Mikrometer tief sein, um das Material an dieser Stelle nicht zu schwächen. Außerdem muss die Wärmeeinflusszone klein sein, damit keine empfindliche Elektronik durch lokal hohe Temperaturen geschädigt wird. Hierfür sind Laser mit einer hohen Puls-zu-Puls-Stabilität erforderlich.



Bearbeiten von Silizium.



## 2.4 NATÜRLICHE MATERIALIEN

Bei organischen Materialien wie Papier, Pappe, Holz oder Leder entstehen durch die lokale Aufheizung bei Bestrahlung mit IR-Wellenlänge Verbrennungen oder werden – insbesondere bei Bearbeitung mit UV-Wellenlänge – chemische Umwandlungsreaktionen ausgelöst, die sich in einer Farbänderung oder Gravur äußern. Beim Karbonisieren mittels IR-Laser kommt es etwa zu einer Art Sonnenbrand auf dem Material, während UV-Laser das Material eher ausbleichen. Die Herausforderung besteht stets darin, dass die Materialien heterogene Eigenschaften haben, Markiererergebnisse also oft nicht vollständig reproduzierbar sind.

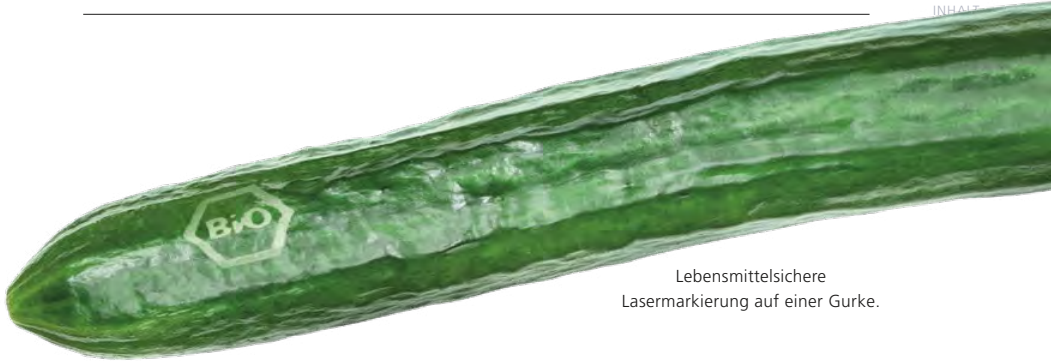
### LEDER

Chemisch gesehen besteht Leder aus Proteinen, Fetten, Wasser und Gerbstoffen sowie Stoffen (zum Beispiel Farbstoffe oder Chrom), die zusätzlich beim Verarbeiten miteingeflossen sind. Die Anteile sind dabei je nach Einsatzgebiet und Qualität äußerst unterschiedlich. Die Oberfläche ist meist sehr unregelmäßig aufgebaut mit stark gemischter chemischer Zusammensetzung und ohne klare chemische Struktur. Schwierige Bedingungen für den Markierlasereinsatz.

Generell führt eine zu starke Energieeinwirkung zu unerwünschten Verbrennungen, die Prozessgeschwindigkeiten können dementsprechend nur moderat sein. Bei einer sorgfältigen Auswahl der Prozessparameter eignen sich sowohl der UV- als auch der IR-Laser. Beim Einsatz von CO<sub>2</sub>-Lasern kommt es hierbei lediglich zu einer Verbrennung des Materials; damit geht meist eine unangenehme Geruchsbildung am Material einher.



Markierungen auf Leder.



Lebensmittelsichere  
Lasermarkierung auf einer Gurke.

### Farbumschlag und leichtes Abtragen

Designelemente und Beschriftungen lassen sich per Farbumschlag direkt ins Leder markieren. Die Oberfläche des Materials bleibt durch den möglichst geringen Energieeintrag intakt, oft genügt es, eine mikrometerdünne Schicht auf dem Leder mit kurzen Pulsen abzutragen. Bei zu langen Pulsdauern entstehen deutlich sichtbare dunkle Wärmeeinflusszonen.

### Perforieren

Neben dem Farbumschlag ist das Bohren von Leder eine gängige Technik der Lederveredelung—dabei werden kleinste Löcher oder Kegel sowie Rechtecke oder Quader dekorativ oder zum Zwecke der Atmungsaktivität in das Leder eingebracht. Je nach Einsatzzweck werden die Formen frontal oder über die Rückseite eingebracht—das Muster ist in diesem Fall von der Vorderseite aus nur durch Hinterleuchtung erkennbar. Da der Energieeintrag beim Bohren stärker sein muss als beim Farbumschlag, liegt hier die Herausforderung darin, die Wärmeeinflusszone so klein wie möglich zu halten und Verbrennungen zu vermeiden. Der Einsatz von UV-Lasern oder Stickstoff als Prozessgas unterstützt die Vermeidung von Verbrennungen, Verhärtungen und unerwünschter Geruchsbildung.

## OBST UND GEMÜSE

Obst und Gemüse wird oft zu Werbezwecken mit Botschaften oder Logos markiert. Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet ist das Kennzeichnen von Obst und Gemüse mit Produktionsdaten, im Fachbegriff Natural Branding genannt—etwa um Bioartikel als solche zu kennzeichnen. Obst und Gemüse bestehen in erster Linie aus Wasser und Kohlenhydraten (Zellulose, Zucker) und sind von einer Schale beziehungsweise Blättern mit unterschiedlicher Oberflächenstruktur umgeben. Die Oberfläche ist sehr empfindlich, es darf kein zu hoher Energieeintrag erfolgen, sonst nimmt sie Schaden. Am schonendsten ist sicherlich der Einsatz von UV-Lasern. Die Wechselwirkung zwischen Laserlicht und Frucht gleicht einem fokussierten Einwirken der Sonne auf das Material: Die Farbpigmente auf der Oberfläche bleichen aus.

UV-Lasermarkierung  
auf Holz.



## HOLZ

Wie alle anderen natürlichen Materialien ist auch Holz kein homogenes Material, mit den entsprechenden Herausforderungen für die Materialbearbeitung mit dem Laser. Das Lasermarkieren von Holz dient – ähnlich wie bei Leder – in erster Linie ästhetischen Zwecken, ist also ein dekoratives Element. Üblich sind Farbumschlag oder Gravur, teilweise auch in Kombination. Ebenso wie bei Leder kommen außerdem das Perforieren und Bohren bei dünnen Furniermaterialien zum Einsatz, um mittels Beleuchtung von hinten Designobjekte zu schaffen.

Für das Lasermarkieren von Holz gelten im Prinzip dieselben Bedingungen wie für das Markieren von Obst und Gemüse. Auch hier ist der UV-Laser das Mittel der Wahl, da er im Prinzip natürliche Prozesse simuliert und verstärkt: Das Holz dunkelt nach. Auch bei Holz muss auf eine sorgfältige Auswahl der Prozessparameter geachtet werden, damit der Energieeintrag und damit die Wärmeeinflusszone nicht zu groß wird. Moderate Prozessgeschwindigkeiten sorgen für eine gleichmäßige und qualitativ hochwertige Markierung. Eine gewisse Karbonisierung gerade zur Kontrasterhöhung einer Gravur kann aus Designgründen im Einzelfall sogar erwünscht sein. Für Gravur- und Karbonisierungseffekte können auch IR-Laser eingesetzt werden.

## 2.5 PROZESSPARAMETER

Ist der Einsatz eines Markierlasers für eine bestimmte Anwendung wirtschaftlich? Hierfür gibt es zwei wichtige Größen: Prozessgeschwindigkeit und Qualität. Prozessgeschwindigkeit lässt sich leicht in Zeit messen, für Qualität gibt es folgende Kriterien:

- **Kontrast:** Die Markierung soll sich deutlich von der Farbe des Grundwerkstoffs abheben.
- **Homogenität:** Die Farbe der Markierung soll im gesamten Schriftbild gleichmäßig sein.
- **Konturtreue und Detailschärfe:** Die Kontur der Markierung soll möglichst genau mit der geforderten übereinstimmen. Details müssen genau genug abgebildet werden.
- **Positionsgenauigkeit:** Die Position der Markierung soll mit dem geforderten Wert übereinstimmen
- **Beständigkeit:** Die Markierung muss kratz- und abriebfest sein. Sie darf keine Mikrorisse haben und muss korrosionsbeständig sein.
- **Gratfreiheit:** Hochwertige Gravuren müssen oft gratfrei sein, da sonst nachgearbeitet werden muss.

Wie erreicht man diese gewünschte Qualität? Durch das ausbalancierte Zusammenspiel der wichtigsten Prozessparameter. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

### PULSFOLGEFREQUENZ / REPETITIONSRATE

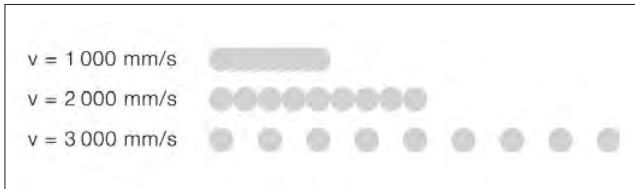
Bei kurzgepulsten Lasern bestimmt die Pulsfrequenz, mit welcher Frequenz die Pulsfolge abgegeben wird. Sie reicht von mehreren Kilohertz bis in den Megahertzbereich. Als Merkregel für gütegeschaltete Festkörperlaser gilt: Bei hoher Repetitionsrate ist die Pulsdauer länger und die Pulsspitzenleistung niedrig. Bei niedriger Repetitionsrate ist die Pulsdauer kürzer und die Pulsspitzenleistung hoch.

### PULSDAUER

Die Pulsdauer ist der in Sekunden gemessene zeitliche Abstand zwischen Anfang und Ende eines Impulses. Markierlaser haben gewöhnlich eine Pulsdauer im Nano-, Piko- oder Femtosekundenbereich. Bei Faserlasern, die als Oszillator-Verstärker-System (MOFPA) aufgebaut sind, lässt sich die Pulsdauer generell flexibler gegenüber der Pulsfolgefrequenz einstellen, da die Pulsdauer über den Seedpuls bestimmt wird.

## ABLENKGESCHWINDIGKEIT

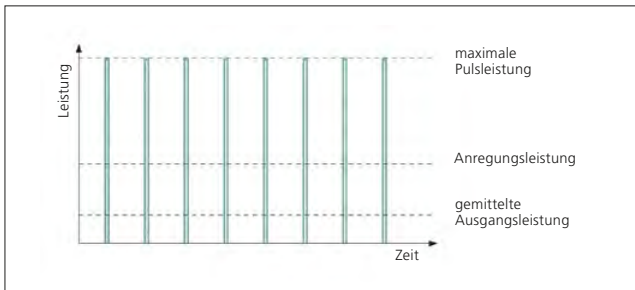
Die Ablenkgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit, mit der die Laserpunkte per Spiegelablenkung auf dem Werkstück fortschreiten. Ist die Ablenkgeschwindigkeit in Relation zur Pulsfrequenz zu klein, überlappen sich die einzelnen Markierpunkte zu sehr. Ist sie zu groß, liegen die Punkte zu weit auseinander und es ergibt sich keine zusammenhängende Linie mehr. Die Ablenkgeschwindigkeit muss also passend zur Pulsfrequenz eingestellt werden, um das gewünschte Markierergebnis zu erreichen.



Bei verringerter Ablenkgeschwindigkeit werden Punkte zu einer Linie.

## MITTLERE LEISTUNG

Die mittlere Leistung eines Laserstrahls ergibt sich aus Spitzenleistung, Dauer und Frequenz der Laserpulse. Sie liegt immer unter Leistung der Laserpulse (Pulsspitzenleistung). Merkregel: Eine höhere mittlere Leistung ermöglicht in der Regel eine schnellere Bearbeitungsgeschwindigkeit – vorausgesetzt das Werkstück kann den entsprechenden Energieeintrag aufnehmen.



Bei gepulsten Festkörperlasern übersteigt die maximale Pulsleistung die Anregungsleistung.

$$P_m = P_p \cdot f_p \cdot t_p$$

$P_p$  = Pulsleistung  
 $E_p$  = Pulsenergie  
 $t_p$  = Pulsdauer  
 $f_p$  = Pulsfrequenz  
 $P_m$  = Mittlere Leistung

## PULSLEISTUNG UND PULSENERGIE

Die Pulsleistung ergibt sich als Rechengröße aus der mittleren Leistung des Lasers, der Pulsfrequenz und der Pulsdauer. Die Pulsenergie ist das Produkt aus Pulsleistung und Pulsdauer. Merkregel: Je höher die Pulsenergie, desto mehr Material wird pro Puls abgetragen. Je höher die Pulsspitzenleistung, desto eher übertrifft man die Schwelle für Materialabtrag und umso intensiver ist die Wechselwirkung mit dem Material. Bei Metallen beispielsweise erhöht sich dabei der Verdampfungsanteil. Bei hoher Pulsspitzenleistung kann auch bei großem Fokusbereich und größerer Brennweite (großer Arbeitsabstand, großes Beschriftungsfeld und hohe Schärfentiefe) noch graviert werden.

$$E_p = P_p \cdot t_p$$

## WELLENLÄNGE

Die Wellenlänge des Laserlichts verortet es auf dem elektromagnetischen Spektrum und bestimmt die Farbe, zum Beispiel ultraviolett, grün, infrarot. Die Wellenlänge bestimmt maßgeblich, wie Licht in einem Material absorbiert wird, und beeinflusst auch die Präzision, Schärfentiefe und Photonenenergie. Bei kleinerer Wellenlänge können kleinere Fokusbereiche erzielt werden, die Schärfentiefe ist dabei ebenfalls geringer und die Photonenenergie höher.

## ABSORPTION

Der Absorptionsgrad gibt an, wie viel Laserlicht in das Werkstück eingekoppelt, wie viel reflektiert und wie viel transmittiert wird; also wie stark das Laserlicht eigentlich wirkt. Der Absorptionsgrad ändert sich je nach Material und Wellenlänge. Er wird außerdem beeinflusst durch den Auftreffwinkel des Laserstrahls, die Temperatur, den Aggregatzustand und die Oberflächenbeschaffenheit des Werkstücks.

## STRAHLQUALITÄT

Unter Strahlqualität versteht man, wie gut sich ein Laserstrahl fokussieren lässt und wie hoch seine Schärfentiefe ist. Die Beugungsmaßzahl  $M^2$  dient als Quantifizierung der Fokussierbarkeit eines realen Strahls und damit der Strahlqualität, welche mit  $M^2 = 1$  den idealen Gaußstrahl darstellt. Je größer  $M^2$  wird, desto schlechter ist die Strahlqualität. Je höher die Strahlqualität, desto kleinere Fokusbereiche lassen sich erzeugen oder desto größer ist die Rayleighlänge als Maß für die Schärfentiefe bei gleichem Fokusbereich. Beim Markieren bedeutet das zum Beispiel, dass die Schärfentiefe größer ist, je höher die Strahlqualität des Lasers ist.



## BRENNWEITE

Die Brennweite der Fokussieroptik gibt den Abstand an zwischen der Mitte der Optik und dem Brennpunkt eines idealen Parallelstrahls und bestimmt damit den Arbeitsabstand zwischen Laser und Werkstück. Merkregel: Je kürzer die Brennweite, desto stärker wird der Strahl fokussiert und desto kleiner sind Fokusbrennweite und Rayleighlänge. Allerdings ändert sich auch die Markierfeldgröße. Je kürzer die Brennweite, desto kleiner ist das Beschriftungsfeld.

## RAYLEIGHLÄNGE UND SCHÄRFENTIEFE

Nach dem Fokus weitet sich der Strahl auf. Die Rayleighlänge gibt den Abstand zum Fokus an, in dem sich die Strahlquerschnittsfläche verdoppelt und die Intensität sich somit halbiert hat. Die doppelte Rayleighlänge wird oft als Schärfentiefe bezeichnet. Eine große Schärfentiefe erlaubt zum Beispiel eine hohe Positionierungstoleranz des Werkstücks oder das Markieren gekrümmter Oberflächen.

$$Z_{Rf} = \frac{\pi}{4 \cdot \lambda} \cdot d_f^2 \cdot \frac{1}{M^2}$$

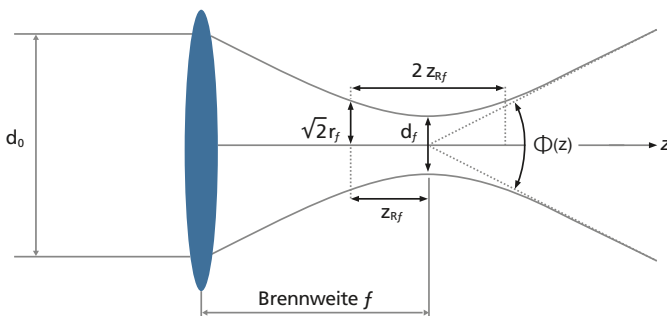
$Z_{Rf}$  = Rayleighlänge  
 $d_f$  = Fokusbrennweite  
 $\lambda$  = Wellenlänge  
 $M^2$  = Beugungsmaßzahl

## FOKUSDURCHMESSER

Der Fokusbrennweite ist die Stelle, an der der Laserstrahl seinen geringsten Querschnitt hat. Merkregel: Je kleiner der Fokusbrennweite, desto höher die Leistungsdichte im Fokus. Diese muss allerdings an das Verfahren angepasst werden. Und je kleiner die Fokusbrennweite, desto feiner und präziser lässt sich auch das Material bearbeiten.

$$d_f = \frac{4 \cdot \lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{d_0} \cdot M^2$$

$d_f$  = Fokusbrennweite  
 $\lambda$  = Wellenlänge  
 $f$  = Brennweite  
 $d_0$  = Rohstrahlendurchmesser  
 an der Linse  
 $M^2$  = Beugungsmaßzahl



## **FOKUSLAGE**

Idealerweise liegt der Fokus exakt auf der Werkstückoberfläche—dies wird beeinflusst durch den Arbeitsabstand und die Brennweite. Ob der Fokus beim Markieren von seiner idealen Lage abweicht, ist je nach Material und Prozess kritisch oder weniger kritisch, kann aber auch gewollt sein, etwa um größere Strichbreiten zu realisieren oder die Energiedichte bei empfindlichen Materialien zu reduzieren oder um beispielsweise Anlassbeschriftungen zu erzeugen und das Material nur zu erhitzen.

## **BEARBEITUNGSGEOMETRIE (LINIENABSTAND, SCHRAFFUR)**

Jede Bearbeitung hinterlässt eine mehr oder weniger breite Spur mit einer bestimmten Geometrie im Material. Diese muss nicht genau dem Fokusbrenndurchmesser entsprechen. Das muss zum Beispiel beim Markieren von Barcodes oder Data Matrix Codes mit einem bestimmten Korrekturabstand in der Modulgröße berücksichtigt werden. Bei gefüllten Konturen werden Linien mit einem bestimmten Linienabstand (oder gegebenenfalls auch einer Linienüberlappung) nebeneinandergesetzt. Durch verschiedene Abstände der Schraffuren lässt sich die Flächenenergie und damit auch das Prozessergebnis einstellen.

## **ENERGIEDICHTE (FLUENZ)**

Die Fluenz ist die Energie pro Fläche eines Laserpulses. Zusammen mit der Absorption bestimmt sie, wie stark Laserlicht und Material wechselwirken. Je nach Material muss eine gewisse Schwellfluenz überschritten werden, damit das Material mit dem Laser abgetragen werden kann (Abtragschwelle).

## **LEISTUNGSDICHTE (INTENSITÄT)**

Die Leistungsdichte eines Laserstrahls—auch Intensität genannt—ist die Leistung pro Fläche; im Fokus ist sie am höchsten. Höhere Leistung und kleinere Fokusbrenndurchmesser erzeugen eine höhere Leistungsdichte. Damit können hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten realisiert werden.

## 2.6 LASER

Am Markt gibt es zahlreiche Markierlaser und Markierlasersysteme von groß bis klein, von teuer bis günstig, vom reinen Laser bis zur Rundum-sorglos-Markierstation. Ihre gemeinsame Basis ist der Laser, aber auch hier gibt es Unterschiede bei den Strahlquellen. Für einen erfolgreichen Markierprozess braucht es neben der Strahlquelle noch die Strahlführung mit der Optik, um das Licht zu formen, den Fokus zu verstellen und entsprechend auf dem Werkstück abzubilden, einen PC und Software um Markierinhalte zu erstellen, und eine Steuerung, um alle Komponenten korrekt zusammenarbeiten zu lassen. Dieses fertige Markiersystem aus Laserstrahlquelle, Optikeinheit, PC und Steuerung zur Integration in Gesamtanlagen nennen wir OEM-Markierlaser. Optionale Sensoriken sichern die Wiederholbarkeit und Prozesssicherheit. Eine schlüsselfertige Markierstation schließlich schafft ein sicheres und ergonomisches Arbeitsumfeld und enthält beispielsweise Achsen oder Aufnahmevorrichtungen, um das Werkstück zu positionieren. All diese Komponenten müssen zusammenspielen, um einen erfolgreichen Markierprozess zu gewährleisten. Die folgenden Kapitel geben einen kurzen Überblick.

### GRUNDSÄTZLICHER LASERAUFBAU

Es gibt zwar unterschiedliche Laserkategorien, sie funktionieren jedoch alle nach demselben physikalischen Prinzip. Einer der grundlegenden Bestandteile ist das **laseraktive Medium**. Dabei handelt es sich um eine Substanz, die das Laserlicht emittiert und in der es verstärkt wird. Es kommen verschiedene Stoffe als aktives Medium infrage: Gase, feste Stoffe oder auch Flüssigkeiten. Wichtig ist, dass sie elektromagnetische Strahlung (also Licht) aussenden, sobald sie angeregt werden und vom angeregten Zustand in energetisch niedrige Zustände zurückfallen.

Die zweite Hauptkomponente ist der **Resonator**, der im einfachsten Fall aus zwei Spiegeln plus aktivem Medium besteht, die das Licht immer wieder in das aktive Medium zurückreflektieren. Der Resonator bestimmt die Ausbreitungsrichtung des Lichts und sorgt für die ausreichende Verstärkung des Strahls durch stimulierte Emission. Einer der beiden Resonatorspiegel ist teildurchlässig für die Laserstrahlung. Hier wird dann der Laserstrahl für die Materialbearbeitung ausgekoppelt.

Weitere wichtige Bestandteile jedes Lasers sind die **Pumpquelle**, die dem aktiven Medium Energie zuführt, und die **Kühlung**, die die allzu große Erwärmung des Systems verhindert.



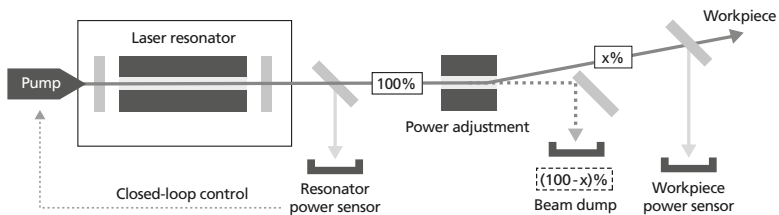
### DIODENGEpumPTEr FESTKÖrPERLASER

Für Markierlaseranwendungen werden häufig diodengepumpte Festkörperlaser eingesetzt. Laserdioden dienen hier als Pumpquelle, die Energie in den stabförmigen Laserkristall pumpen. Dies kann entweder von der Seite (transversal) oder an den Stirnflächen (longitudinal) geschehen. Letztere Variante erlaubt den Aufbau eines Lasers mit höherer Strahlqualität, da die Temperaturverteilung im Laserstab homogener ist. So ist ein sehr kompaktes Design möglich. Diodengepumpte Festkörperlaser zeichnen sich durch geringe Pulsdauern aus, die in sehr hohen Pulsspitzenleistungen von mehreren 10 kW bei einer mittleren Leistung im Bereich von meist 5 bis 25 W resultieren. Das monochromatische Pumpen des Lasers mit Dioden führt zu einer sehr hohen Effizienz und damit einem hohen Wirkungsgrad. Aufgrund hoher Strahlqualitäten und hoher Pulsspitzenleistungen sowie der daraus resultierenden guten Fokussierbarkeit und Leistungsdichten lassen sich hervorragende Bearbeitungsqualitäten erreichen.

Das Laserlicht entsteht im Laserkristall und wird zwischen den Resonatorspiegeln hin und her reflektiert und bei jedem Durchgang durch den Laserstab verstärkt. Durch den teildurchlässigen Auskoppelspiegel tritt ein Teil des Laserlichts aus dem Resonator aus, das dann für die Markierlaseranwendung genutzt wird. Mithilfe eines elektrooptischen Schalters im Resonator, dem sogenannten Güteschalter (auch **Q-Switch**), werden kurze Pulse (typischerweise 8 bis 100 ns) bei Pulsfrequenzen zwischen 1 und 200 kHz erzeugt. Dieser Schalter ist im Normalzustand optisch transparent. Durch Erzeugung einer akustischen Welle im Kristall ändert sich der Brechungsindex lokal. Der Strahl wird abgelenkt, die Oszillation des Laserstrahls zwischen den Spiegeln wird unterbunden und der Laser „erlischt“. Während dieser Unterbrechung pumpt das Diodenmodul jedoch weiter Energie in den Kristall. Wird der Strahlengang wieder freigegeben, entlädt sich die Lichtenergie schlagartig. Ein Laserpuls mit hoher Leistung wird frei.

Bei modernen diodengepumpten Festkörperlaseren werden Leistungsregelungen des Resonators verwendet, um immer eine exakte Leistungsabgabe über die gesamte Lebensdauer zu gewährleisten. Zudem werden noch externe akustooptische Modulatoren eingesetzt, um die ausgehende Laserleistung linear skaliert und pulsgenau zu emittieren und damit die Applikation perfekt einzustellen.

In den Strahlengang kann zusätzlich ein nichtlinearer Kristall eingebaut werden, mit dessen Hilfe die Frequenz des Laserlichts verdoppelt oder verdreifacht wird. Der Laser emittiert dann grünes Laserlicht oder UV-Licht. Neben der Nd:YAG- oder Nd:YVO<sub>4</sub>-Grundwellenlänge (1.064 nm) oder Yb:YAG-Grundwellenlänge (1.030 nm) im infrarotnahen Bereich ist frequenzverdoppelte (grünes sichtbares Licht, 532 beziehungsweise 515 nm) oder -verdreifachte (UV, 355 beziehungsweise 343 nm) Laserstrahlung im Einsatz. Frequenzverdoppelte und -verdreifachte Festkörperlaser werden vor allem zum Beschriften von Kunststoffen, natürlichen Materialien oder Glas eingesetzt.



Diodengepumpter Q-Switch-Festkörperlaser mit Laserleistungsregelung und externem akustooptischen Modulator.

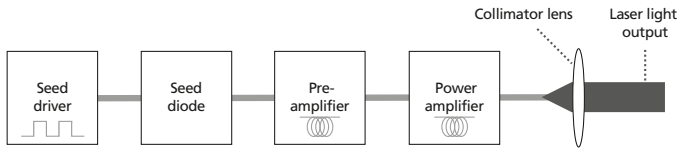
## FASERLASER

Ein Faserlaser ist ein diodengepumpter Festkörperlaser, bei dem statt eines stabförmigen Kristalls eine Faser als laseraktives Medium dient. Die Faser, oft dotiert mit Ytterbium, muss nicht wie der Stab gekühlt werden. Da ihre Oberfläche im Verhältnis zum Volumen sehr groß ist, genügt die Wärmeabgabe an die umgebende Luft. Der Resonator besteht im Idealfall nur noch aus einer langen, dünnen Quarzglasfaser. Rück- und Auskoppelspiegel sind in die Endstücke der Faser integriert, die Strahlquelle kann direkt an eine Transportfaser angefügt werden. Alle Elemente bilden dann ein zusammenhängendes Faserstück.

Die Laserleistung ist über die Faserlänge und den Kerndurchmesser bestimmt. Die Pulsspitzenleistung ist aber nicht beliebig steigerbar, da zu hohe Leistungsdichten die Faser beschädigen könnten. Dafür sind Faserlaser sehr effizient. Der Energieverbrauch für ein 20-W-System liegt bei rund 300 W und damit weniger als ein handelsüblicher Haarfön. Außerdem fällt die Integration durch den robusten Aufbau und die geringen Dimensionen von Laserkopf, Ablenkeinheit und Versorgungseinheit leicht.

Faserlaser können als Oszillator-Verstärker-System aufgebaut werden, auch Master Oszillator Fiber Power Amplifier (MOFPA) genannt: Der Seedpuls wird in einer zweiten Faser nachverstärkt. Dadurch erreicht man relativ einfach hohe mittlere Leistungen. Ein weiterer technischer Vorteil des Faserlasers im MOFPA-Aufbau ist, dass – im Gegensatz zu einem Q-Switch-Laser – die Pulsdauer unabhängig von der Pulsfrequenz eingestellt werden kann. Es ist also möglich, kurze Pulsdauern bei hohen Frequenzen im Megahertzbereich zu verwenden. In der Praxis bedeutet das eine extrem hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit auch für feine oder temperaturempfindliche Materialien oder beim Abtrag sehr dünner Schichten. Bei der Bearbeitung von Metallen kann darüber hinaus der Schmelz- und Verdampfungsanteil besonders genau gesteuert werden, um die Qualität und die Abtragraten zu kontrollieren. Je höher der Schmelzanteil (also je länger die Pulse sind), desto größer ist die Abtragraten. Je höher der Verdampfungsanteil (also je kürzer die Pulse sind), desto besser ist die Qualität.

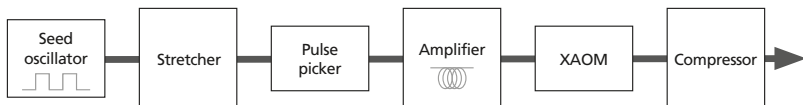
Zusätzlich ist es bei MOFPA-Faserlasern möglich, die Pulsform variabel zu gestalten. Das erhöht die Flexibilität für die Parametereinstellung. Beispielsweise kann durch ein längeres Plateau am Ende des Pulses das Material länger auf höherer Temperatur gehalten werden oder durch eine steile, abfallende Flanke schneller abkühlen.



Prinzipaufbau eines Master Oscillator Fiber Power Amplifier (MOFPA).

## ULTRAKURZPULSLASER

Durch den Einsatz von Ultrakurzpulslasern lassen sich Markierlaser für Anwendungen einsetzen, die über die klassischen Beschriftungsapplikationen hinausgehen. Durch die extrem kurze Dauer der Pulse ist der Interaktionszeitraum zwischen Laserpuls und Material so kurz, dass es zu nahezu keinen thermischen Prozessen zwischen Bearbeitungsbereich und umliegendem Material kommt. Daher spricht man auch oft von kalter Bearbeitung. Typische Anwendungsgebiete sind gratfreie Gravuren, das Sublimierschneiden, Schwarzmarkieren oder – wegen des geringen Wärmeeinflusses – die Kunststoffbearbeitung.



Prinzipaufbau faserbasierter Ultrakurzpulslaser.



Die bei TRUMPF eingesetzten Ultrakurzpulslaser zum Markieren sind Faserlaser, die nach dem Leistungsverstärkungsprinzip funktionieren. Bei diesem im Jahr 2018 mit dem Physik-Nobelpreis ausgezeichnetem Verfahren werden zunächst ultrakurze Laserpulse geringer Leistung und Pulsenergie erzeugt. Diese Pulse werden in einem Medium auf die Ausgangsleistung des Ultrakurzpulslasers verstärkt. Die verstärkten ultrakurzen Pulse besitzen enorm hohe Spitzenintensitäten. Um zu verhindern, dass die Pulse bereits während der Verstärkung in der Faser die Faser selbst zerstören, müssen sie vorab in einem Strecker (Stretcher) auf eine sehr lange Pulsdauer gedehnt werden. In langen Pulsen ist die gleiche Energie auf einen viel größeren Zeitraum verteilt, die Intensität sinkt unter die Zerstörschwelle des Verstärkungsmediums: Die Verstärkung ist kein Problem mehr. Damit die verstärkten Pulse wieder ihre ursprüngliche extrem kurze Pulsdauer bekommen, müssen sie nach der Verstärkung noch in einem Kompressor zeitlich gestaucht werden. Das Ergebnis sind verstärkte, ultrakurze Laserpulse, die die verstärkte Energie in extrem kurzer Zeit liefern und somit zu enormen Spitzenleistungen führen. Alle Ultrakurzpulslaser von TRUMPF besitzen einen patentierten akustooptischen Modulator, der eine kontinuierliche Regelung der Laserleistung ermöglicht und dauerhafte Prozessqualität sicherstellt.



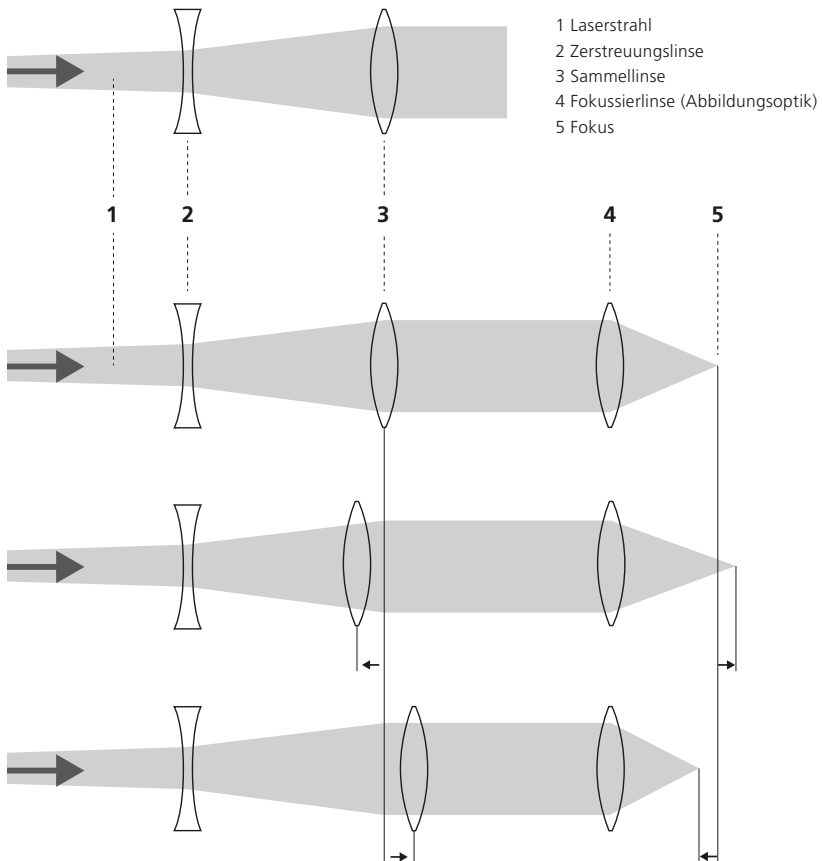
Ultrakurzpulslaser zur Integration in Fertigungslinien.

## 2.7 STRAHLFÜHRUNG UND FOKUSSIERUNG

Die Strahlführung ist der Weg, den das Laserlicht nach dem Austritt aus dem Resonator bis zur Abbildungsoptik zurücklegt – zum Beispiel über Spiegel und Laserlichtkabel. Grob unterscheidet man in der Strahlführung zwei Phasen: Strahlaufweitung und Strahlableitung. In der Abbildungsoptik schließlich wird der Strahl auf das Werkstück fokussiert.

### STRAHLAUFWEITUNG

Nach dem Resonator wird der Laserstrahl im sogenannten Strahlteleskop aufgeweitet und parallelisiert (kollimiert). Dieses besteht in der Regel aus zwei gegeneinander verschiebbare Linsen: einer Zerstreuungslinse und einer Sammellinse, die als Teleskop fungieren.



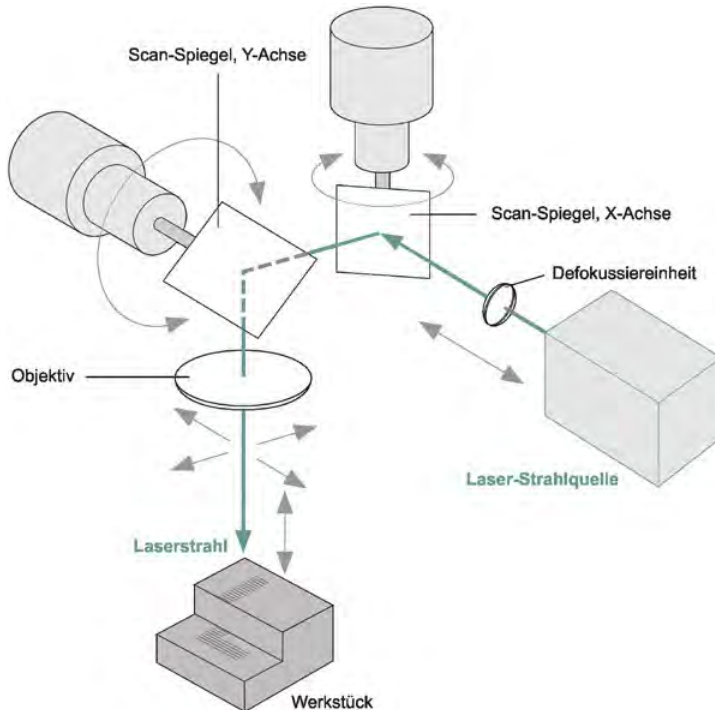
Strahlaufweitung zur Fokussieranpassung.

Wie sehr der Strahl aufgeweitet wird hängt von der Abwägung zweier Ziele ab: Einerseits sollte er möglichst breit aufgeweitet werden, weil er dann am Ende umso kleiner fokussierbar ist. Andererseits sollte er auch nicht zu weit werden, damit man möglichst kleine – und damit schnell verstellbare – Spiegel einsetzen kann.

Die beiden Linsen des Strahlteleskops lassen sich gegeneinander verschieben. Im Zusammenwirken mit der Fokussieroptik lässt sich auf diese Weise die Lage des Fokus ändern.

### STRAHLABLENKUNG

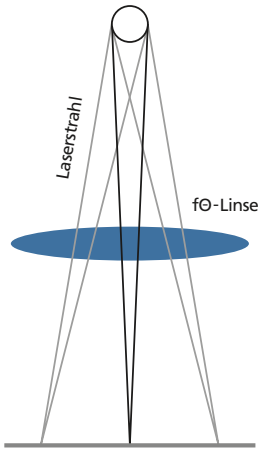
Nach der Aufweitung und Kollimation wird der Strahl von zwei an einem Galvanometerantrieb befestigten Spiegeln abgelenkt und in Richtung Abbildungsoptik geleitet. Diese durch das Markierprogramm gesteuerte Ablenkscannereinheit, kurz Scanner genannt, leistet letztlich die schnelle Strahlführung über das Werkstück, ohne dass Werkstück oder Laserkopf bewegt werden müssen. Bei gewöhnlichen Scannern sind Ablenkgeschwindigkeiten von über 10 m/s auf dem Werkstück möglich, womit sich über 100 Zeichen pro Sekunde aufbringen lassen. Für ein optimales Markierergebnis ist es unabdingbar, Pulsfrequenz und Ablenkgeschwindigkeit aufeinander abzustimmen.



Prinzip einer Scanneroptik.

## FOKUSSIERUNG

Die Abbildungsoptik fokussiert den Laserstrahl mittels eines Linsensystems auf das Markierfeld, um dort eine hohe Leistungsdichte zu erhalten und die Materialbearbeitung zu ermöglichen. In Markierlasersystemen wird für 2D-Anwendungen meist eine sogenannte Planfeldoptik mit F-Theta-Charakteristik nach dem Scanner eingesetzt, die den Laserstrahl auf eine ebene Fläche fokussiert und nicht wie Standardlinsen auf eine sphärische Fläche. Abbildungsoptiken für Markierlasersysteme sind in verschiedenen Brennweiten verfügbar. Die **Brennweite** bestimmt folgende Kenngrößen:

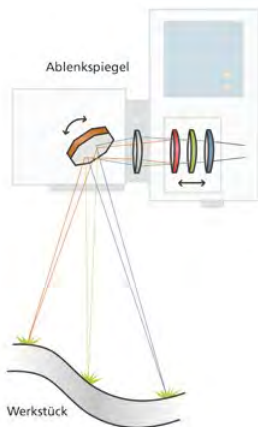


Markierfeldkorrektur  
mittels einer F-Theta-Linse.

- **Markierfeldgröße:** Je länger die Brennweite, desto größer das Markierfeld oder das Markiervolumen.
- **Arbeitsabstand:** Je länger die Brennweite, desto größer der Arbeitsabstand.
- **Tiefenschärfe:** Je länger die Brennweite, desto größer der Tiefenschärfebereich und der Bereich, in dem der Fokus intern verschoben werden kann.
- **Fokusbereich:** Je länger die Brennweite, desto größer der Fokusbereich und desto geringer die Leistungsdichte auf der Werkstückoberfläche.

### 3D-Fokussieren

Bei geringen Höhenunterschieden am Werkstück genügt oft die Schärfentiefe oder es kann die Fokussierung mit der sequentiell verstellbaren Fokussierung an die Oberflächengeometrie des Werkstücks angepasst werden. Bei Markierungen an Werkstücken mit großen Höhenunterschieden behält man sich lange Zeit, indem man entweder das Werkstück oder die Optik auf der Z-Achse bewegt. Neuere Optiken kommen durch eine andere Linsenkonfiguration auch ohne jede Bewegung des Laserkopfs mit Markierungen an dreidimensionalen Werkstücken und hohem Z-Hub zurecht: Vor der Fokussierlinse wird eine weitere Linse positioniert, die als Teleskop dient. Sie lässt sich über eine Spule hochdynamisch bewegen, sodass der Laserfokus simultan zur Bewegung der Scan-Spiegel angepasst und frei im Raum bewegt werden kann. Aus dem Markierfeld wird damit ein Markierraum. Die eigentliche Fokussierlinse wird dabei vor den Scanner positioniert, um einen Z-Bereich abfahren zu können.



Fokusanpassung mit Z-Achse  
an einem dreidimensionalen  
Werkstück.

## 2.8 MARKIERSYSTEME

Das Spektrum an Lasermarkiersystemen reicht vom mobilen Lasergerät bis zur automatisierten Bearbeitungsstation. Je nach Markieraufgabe, dem Bauteilvolumen und der Losgröße bieten kleine, kostengünstige Lösungen und voll ausgestattete High End-Systeme für jeden Bedarf das Richtige. In ihrer Grundstruktur unterscheiden sich die Lasermarkiersysteme nicht wesentlich. Im Folgenden wird beschrieben, welche Bestandteile zu einem Markierlasersystem gehören und welche Ausstattung für unterschiedliche Anwendungen notwendig sind.

### LASERSCHUTZKLASSE 1

Markierlaser müssen nach Laserschutzklasse 1 zertifiziert sein, damit sie ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen eingesetzt werden können. Durchdachte Sicherheitskonzepte mit intelligenten Überwachungssensoren gewährleisten dies jederzeit. Der Arbeitsraum ist mit einer Schutztür gesichert, die sich beim Markieren schließt und das gefahrlose Arbeiten garantiert. In der Umhausung kann ein speziell für die entsprechende Wellenlänge ausgelegtes, beschichtetes Schutzfenster eingebaut werden, um den Einblick zu ermöglichen.

### ABSAUGANLAGE

Vor allem beim ablativen Gravieren können Partikel entstehen, die die Gesundheit schädigen können. Daher sind Absaugsysteme in Markierlaseranlagen zwingend vorgeschrieben. Das Filtersystem besteht aus einem Vorfilter sowie einem Partikelfilter mit Aktivkohle. Die Absaugdüse saugt Dämpfe und Partikel an, anschließend werden sie über einen Schlauch in das Filterpaket geleitet. Mithilfe einer geeigneten Software kann die Absauganlage mit dem Markiersystem an- und nach Beendigung des Steuerungsprogramms wieder ausgeschaltet werden.

### ACHSEN

Die Z-Achse unterstützt bei der Positionierung des Laserkopfes die Einstellung der exakten Fokusslage. Mit weiteren optional erhältlichen Achssystemen lässt sich der Bearbeitungsprozess an die Bauteilanforderungen anpassen. So kann es beispielsweise beim Beschriften größerer Flächen notwendig sein, das Bauteil in zwei Richtungen zu bewegen—man spricht hier von Flächensegmentierung. Die dafür notwendigen Werkstückhalterungen sind auf Linearachsen angebracht. Optionale Drehachsen ermöglichen Markierungen auch auf zylindrischen Werkstücken (Rundachsen-segmentierung).

## WERKSTÜCKAUFNAHME

Bei Arbeitsstationen für Kleinserien wird das Werkstück meist manuell eingelegt und entnommen. Bei größeren Anlagen erfolgt dies in der Regel automatisiert. Eine im Arbeitsraum angebrachte T-Nutenplatte oder Lochplatte dient zur Aufnahme von Werkstücken oder Vorrichtungen. Mit einer optional auf dem Achssystem montierten Drehachse lassen sich Werkstücke verschieben und drehen. Bei der Integration in eine Fertigungslinie ist es möglich, die seitliche Umhausung zu entfernen, falls der Laser nicht direkt in eine Produktionslinie integriert werden soll. Die Markiervorgänge laufen in Verbindung mit den Werkstückbewegungen automatisiert ab.





## 2.9 PROZESSSICHERHEIT

Um eine konstante Markierqualität über die gesamte Lebensdauer des Lasersystems zu erreichen, ist es wichtig, den Markierprozess zu beobachten und bei Bedarf nachzuregulieren. Hierzu stehen mehrere technische Lösungen zur Verfügung, von denen einige im Folgenden vorgestellt werden.

### BILDVERARBEITUNG

Eine Bildverarbeitung erkennt die Bauteilposition und stellt sicher, dass jede Markierung exakt an der richtigen Stelle sitzt. Meist in die Positionsüberwachung integriert liest das Prüfsystem die eben aufgebrachte Markierung sofort aus und bewertet Qualität und Inhalt. Auch versehentliche Doppelmarkierungen werden auf diesem Weg vermieden. Das Ergebnis der Qualitätsprüfung kann zu Dokumentationszwecken in eine Datenbank übertragen werden.



Die integrierte Kamera überprüft die Position und die Markierung.

### LASERLEISTUNGSMESSUNG

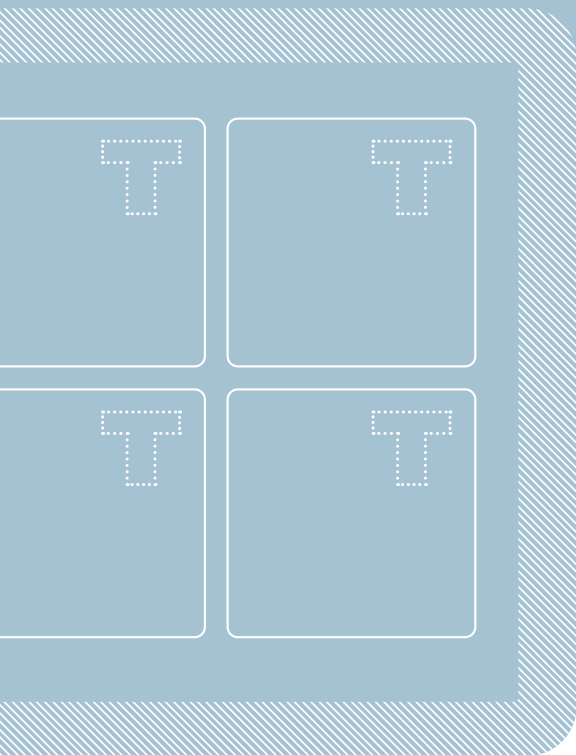
Eine konstante Laserleistung während der gesamten Lebensdauer ist ein wichtiger Faktor für ein qualitativ gleichbleibendes Markierergebnis. Mit einem lichtdurchlässigen Spiegel im internen Strahlengang lässt sich der aktuelle Leistungsstatus stets überprüfen. Aus physikalischen Gründen nimmt die Laserleistung über einen langen Zeitraum immer leicht ab. Bei diodengepumpten Festkörperlasern lässt sich das einfach nachregulieren, indem der Strom, der die Pumpdioden versorgt, angepasst wird. Das geschieht in der Regel halb- oder voll automatisch.

### **LASERLEISTUNGSREGELUNG**

Schwankt die Umgebungstemperatur, kann auch dies Auswirkungen auf die Laserleistung und damit auf das Markierergebnis haben. Eine moderne Laserleistungsregelung koppelt darum einen definierten Prozentsatz an Laserleistung aus dem Strahlengang inline aus und misst ihn per Photodioden. Ein Regelkreislauf passt daraufhin automatisch die Pumpleistung der Dioden an, sodass über die gesamte Lebensdauer hinweg die Markierqualität konstant bleibt.

### **CONDITION BASED MONITORING**

Über Sensoren und den dazu passenden Schnittstellen zum Auslesen verschiedener Informationen wie dem TruMark OPC UA Condition Monitoring Interface kann eine ständige und umfassende Zustandsanalyse von Laser und Markierprozess im Sinne von Industrie 4.0 erzielt werden. Diese Informationen umfassen Laserzustandsdaten und Prozessparameter wie beispielsweise die Laserleistung oder die Lufttemperatur bei der Kühlung. Warnungsmeldungen zeigen frühzeitig Handlungsbedarf auf, Fehlermeldungen werden sofort angezeigt—so können Ausfälle schnell behoben oder sogar gänzlich vermieden werden und es kommt zu keinen unerwarteten Unterbrechungen der Produktion.



### 3. PRAKTISCHES MARKIEREN

Die Wahl der Werkstoffe und des darauf anzuwendenden Markierverfahrens ist getroffen. Nun wird es praktisch: Beim Einschalten des TRUMPF Markierlasersystems startet die Steuerungssoftware TruTops Mark automatisch über den Steuerrechner.

*Die intuitive Bedienoberfläche erleichtert den Zugriff auf:*

- CAD-Editor
- Einstellung und Verwaltung von Laserparametern
- Schnittstellen
- Einfaches Marking on-the-fly
- Ablaufprogrammierung
- Diagnose-Tool

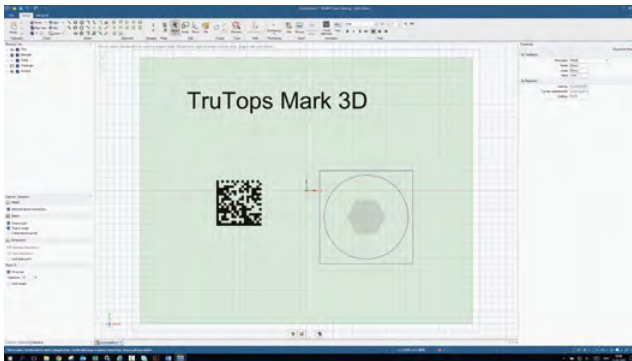
Mit diesen Werkzeugen lassen sich alle notwendigen Schritte durchführen, um die Inhalte auf das Werkstück zu bringen.



## 3.1 MARKIERINHALTE DEFINIEREN

### 3D-CAD-EDITOR

Zunächst muss der Laser wissen, was er auf dem Werkstück aufbringen und wo sich die Markierung befinden soll. Dazu dient der 3D-CAD-Editor. Er bietet sowohl alle Funktionen zum Konstruieren von Bauteilen, Vorrichtungen oder Baugruppen als auch alle Funktionen zum Zeichnen und Anordnen von Grafikobjekten, über die vollwertige CAD-Programme verfügen. Mit dem 3D-CAD-Editor können Bauteile und Zeichnungen erstellt werden, die mit dem Markiermodul in ein Markierprogramm umgewandelt und vom Markierlasersystem ausgeführt werden. Es können sowohl einfache Geometrien wie Rechtecke, Kreise und Texte als auch komplexe Programme mit mehreren Zeichnungselementen erstellt werden. Auch spezielle Markierungen wie Seriennummern oder Barcodes sind problemlos möglich, ebenso das Importieren von STP-Files als fertige Baugruppen. Entsprechende Konverter ermöglichen das Einlesen von CAD-Zeichnungen und Bauteilen oder Bildformaten als Vektor- oder Pixeldateien, die beliebig variiert und nachbearbeitet werden können. Das Programm enthält zusätzlich Grafikdaten zur Steuerung der Ablenkeinheit des Markierlasersystems sowie die notwendigen Laserparameter.



Im 3D-CAD-Editor entstehen die Markierungen— von einfach bis komplex.

### SCHRIFT

Für den Text können beliebige TrueType-Schriftarten verwendet werden. Auch der Import neuer Windows-Schriftarten ist möglich. Die Schrift kann nach Belieben formatiert werden—gespiegelt, gekrümmt oder kursiv. Flexible Schraffurmöglichkeiten—auch Mehrfachschraffuren für einen hohen Materialabtrag—erlauben das Ausführen von Texten, Logos und Objekten.

## DATEIFORMATE

Anstatt den Markierinhalt selbst zu definieren und zu zeichnen, können zahlreiche Dateiformate importiert werden, beispielsweise DXF- oder STP-Files.

*Kompatible Dateiformate sind derzeit:*

<b>ACIS</b> (.sat/.sab/.asat/ .asab)	<b>ICEM CFD</b> (.tin)	<b>Rhino</b> (.3dm)
<b>AMF</b> (.amf)	<b>IGES</b> (.igs/.iges)	<b>SketchUp</b> (.skp)
<b>AutoCAD</b> (.dxf/.dwg)	<b>Inventor</b> (.ipt/.iam)	<b>Solid Edge</b> (.par/.psm/.asm)
<b>Bilddateien</b> (.bmp/.gif/ .jpg/.jpeg/.pcx/.png/ .tif/.tiff)	<b>JT Open</b> (.jt)	<b>SolidWorks</b> (.sldprt/.sldasm)
<b>CATIA V4</b> (.model/.exp)	<b>NX</b> (.prt)	<b>STEP</b> (.stp/.step)
<b>CREO Parametric</b> (.prt/ .xpr/.asm/.xas)	<b>OBJ</b> (.obj)	<b>STL</b> (.stl)
<b>DesignSpark</b> (.rsdoc)	<b>OpenVDB</b> (.vdb)	<b>TruTopsMark 3D</b>
<b>ECAD</b> (.idf/.idb/.emn)	<b>Parasolid</b> (.x_t/ .xmt_txt/.x_b/.xmt_bin)	<b>Templates</b> (.scdot)
<b>Fluent-Netz</b> (.tgf/.msh)	<b>PLM XML</b> (.plmxml/.xml)	<b>VDA</b> (.vda)
	<b>PLY</b> (.ply)	<b>VRML</b> (.wrl)
	<b>Punktkurve (Text)</b> (.txt)	
	<b>QIF</b> (.qif)	

## MARKIEREN VON BITMAPS, GRAFIKEN UND BILDERN

Mit dem sogenannten Imager lassen sich Graustufenbilder schnell und in hoher Qualität sowie Auflösung markieren. Komplexe Grafiken und Designs können in Hochgeschwindigkeit markiert werden. Grauschattierungen sorgen für exzellente Markierqualität und hohe Kontraste. Jeder Pixel wird nur einmal gescannt. Eine spezifische Laserparametrierung erfolgt für jeden Bildpunkt.



Mit dem Imager entstehen Graustufenbilder von hoher Qualität.



## VARIABLEN

Der im Datenobjekt benutzte Text oder Wert kann fest und unveränderlich („statisches Objekt“) oder als Variable definiert werden. Variablen, beispielsweise Seriennummern, werden erst bei der Markierung mit den gewünschten Inhalten gefüllt. Bei der Ausführung des Markierprogramms wird der Variablentext aus Konstanten, einem Schlüsselwort (zum Beispiel dem aktuellen Datum), einer Seriennummer oder einer schon angelegten Variablen generiert. Hierbei können mehrere Objekte (Schlüsselwörter, Konstanten, Variablen) zusammengefügt werden. Oder die Variable wird direkt über die externe Schnittstelle an das Markiersystem übergeben.

## BARCODES

Die variablen Daten können einfach als ein- oder zweidimensionaler Barcode kodiert werden. Verschiedene Barcode-Typen unterscheiden sich hinsichtlich der verwendbaren Zeichen, der Kodierung und der Länge des gewünschten Texts. In TruTops Mark lassen sich zahlreiche Barcodes, quadratische und rechteckige DMRE- und Data Matrix Codes (auch nach GS1-Standard) sowie QR-Codes erzeugen. Zusammen bilden sie eine Folge aus unterschiedlichen Symbolgrößen, mit denen kleine und große Datenmengen effizient codiert werden können. Der Laser kann die Formate automatisch auswählen und Lesegeräte sind in der Lage, sie automatisch zu unterscheiden.

## STEUERUNG MIT EXTERNER DATENKOMMUNIKATION

TruTops Mark kann über verschiedene Schnittstellen mittels externer Datenkommunikation gesteuert werden. Variable Fertigungsdaten können über die integrierte Schnittstelle online in ein vordefiniertes Markierprogramm eingebunden werden. Für die steuerungsseitige Einbindung des Markierlasersystems in bestehende Fertigungsanlagen bietet TruTops Mark folgende Möglichkeiten:

- TLV
- Digital I/O
- TCP/IP
- Profibus
- Profinet
- EtherNet/IP
- EtherCAT

## ACTIVEX TRUTOPS MARK COMPONENT

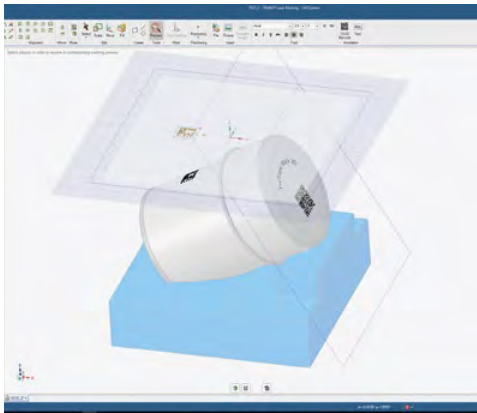
Die ActiveX-Softwarekomponente für TruTops Mark erleichtert die Integration durch ActiveX-Datenaustausch. Vorgefertigte Tag-Length-Value-Befehle können einfach in die Prozessumgebung integriert werden.



## 3.2 POSITION AUSRICHTEN

Das **Markierfeld** ist der Bereich, in dem die Markierung durch den Laser möglich ist, beziehungsweise der Bereich, der vom Scanner abgedeckt wird. Die Größe des Markierfelds hängt von der Maschinenkonfiguration ab und wird in der Markieroberfläche entsprechend der gewählten Optik eingestellt.

Mit einer 3D-Hardware (TruMark 6030) lassen sich Markierungen auf 3D-Oberflächen erzeugen – hierzu entsteht aus einem Markierfeld ein Markiervolumen mit einer zusätzlichen Z-Komponente.



Abgewickelte  
Beschriftungsinhalte  
für eine 3D-Markierung.

Eine geeignete **Werkstückaufnahme** für die Bauteile stellt sicher, dass diese immer exakt positioniert werden können. Eine derartige Vorrichtung ist jedoch nicht in jedem Fall notwendig, da die Beschriftung berührungslos erfolgt und somit keine Kräfte auf das Bauteil wirken.

Eine einfache Ausrichtung der Markierung ist mit dem **Pilotlaser** möglich. Dieser gibt über die Laseroptik rotes Licht mit kleiner Leistung ab. Zur Ausrichtung werden Markiervorgänge mit dem Pilotlaser vor der eigentlichen Markierung auf dem Werkstück simuliert.



Zur Ausrichtung  
simuliert der Pilotlaser  
die Markierung.

Eine **Markiervorschau** im CAD-Editor gibt einen Ausblick auf das Ergebnis, in dem auch Variableninhalte, Schraffuren sowie die 3D-Abwicklung oder Projektion zu sehen sind.

Für die einfache Positionierung und optimale Ausrichtung der Markierung dient das Kamerasystem **VisionLine**. Hier erfolgt eine Projektion der Markierung auf die Bauteiloberfläche, um eine perfekte Positionierung ab Losgröße 1 zu ermöglichen. Über eine Markierfeldkamera mit Winkelkorrektur wird ein Kamerabild im CAD-Editor angezeigt und die Markierung kann auf dem Bild überlagert positioniert werden.

### FOKUSLAGE EINSTELLEN

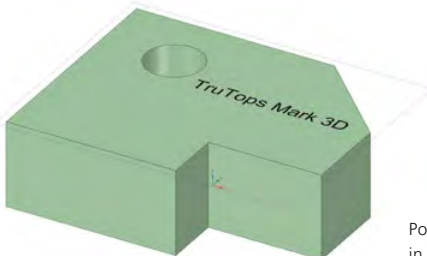
Wichtig ist, dass der Laser immer in der optimalen Fokusslage arbeitet. Der Arbeitsabstand kann wahlweise mit einem einfachen Lineal manuell eingestellt werden, über einen Fokus-Finder mit zwei projizierten Fadenkreuzen oder halbautomatisch mit einem Sensor mit Triangulationsmessung oder über die Bildverarbeitung VisionLine, die über die Schärfe des Bildes den Fokus einstellt.



Focus Finder

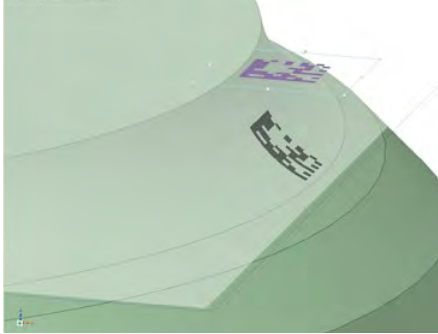
### WERKSTÜCKPOSITIONIERUNG IN TRUTOPS MARK 3D

In TruTops Mark 3D kennt der Laser über werkstückorientiertes Design in der Software die Position und die geometrischen Eigenschaften des Bauteils. Auch die Fokusslage und Z-Steps werden automatisch erfasst. Dieses Werkstück-Positioniertool im dreidimensionalen Raum erspart Zeit und ermöglicht eine sehr komfortable Bedienung. Die Markier-Geometrien liegen automatisch auf der richtigen Höhe in Bezug auf das Werkstück und den Laser.



Positionierung des Werkstücks  
in TruTops Mark 3D.

Bei der **Markierung von 3D-Oberflächen** liegt die Markier-Geometrie über dem Werkstück und kann auf dessen Oberfläche entweder abgewickelt—also quasi wie ein Sticker aufgeklebt—oder wie ein Schattenwurf projiziert werden.

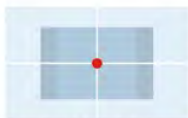


Projektion eines DMC-Markierinhalts auf eine 3D-Oberfläche.

Die **Bildverarbeitungssoftware VisionLine** sorgt durch automatische Positionserkennung für eine hohe Prozesssicherheit und mehr Produktivität. Sie erkennt die Bauteilposition, stellt sicher, dass jede Markierung exakt an der richtigen Stelle sitzt, und prüft sie sofort. Das System meldet fehlende Bauteile und vermeidet aktiv Doppelmarkierungen. Aufwendiges Einrichten, teure Vorrichtungen und unnötiger Ausschuss sind passé. Das zu erkennende Merkmal wird einfach aus einer umfassenden Bibliothek an vordefinierten Merkmalen ausgewählt und mit dem einzulesenden Code sowie weniger Parameter eingegeben—fertig. Die Funktionen können auch als Standardablauf in einen automatisierten Markierprozess integriert werden.



VisionLine für Positionierung: Messung der Werkstückposition und Korrektur der Markierposition.



VisionLine Mark Autofocus



VisionLine Mark Traceability

Station 5000

TRUMPF  
TruMark Station 5000

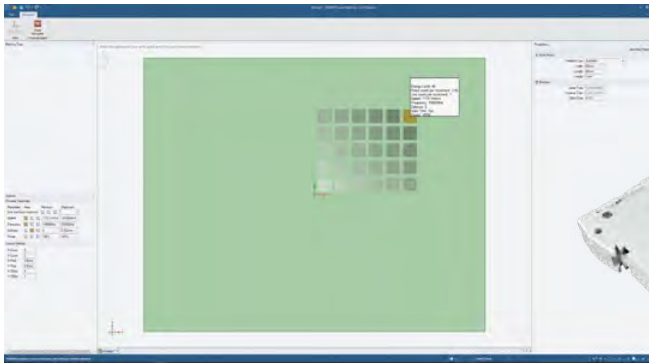
TRUMPF  
TruMark Station 5000



## 3.3 PARAMETER WÄHLEN

### NAVIGATOR

Der Navigator unterstützt dabei, für jede Markieraufgabe schnell die passenden Laserparameter zu finden. Es muss nur noch der gewünschte Werkstoff zum Markieren ausgewählt werden. Jedem Material sind ein oder mehrere Prozesse zugeordnet (zum Beispiel Gravieren, Anlassen, Farbumschlag). Die Objekte, die als Testfeld markiert werden, sind frei wählbare Objekte in frei wählbaren Dimensionen. Das Testfeld wird auf einem Werkstück markiert. So kann der Parameter mit dem benötigten Kontrast oder der gewünschten Qualität für die folgende Markierung ausgewählt werden.

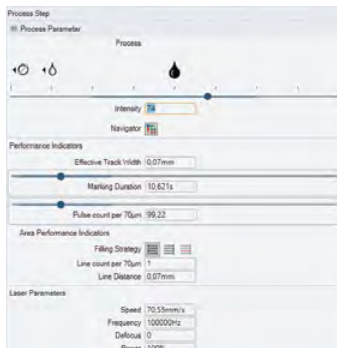


Der Navigator hilft, die passenden Laserparameter zu finden.



### MAGIC 5

Bei der Option Magic 5 kennt die Software die physikalischen Eigenschaften des Lasers – die Konfiguration ist automatisch hinterlegt, sodass keine Laserkenntnisse nötig sind, um Werkstücke zu markieren. Ein Schieberegler ermöglicht Hell-dunkel-Kontraste auf Metall oder Kunststoff, ohne die einzelnen Laserparameter manuell anpassen zu müssen.



Einfache Hell-dunkel-Kontraste per Schieberegler bei Magic 5.

Über eine **Parameterbibliothek/globale Parametertabelle** können einmal benutzte Parameter auf neue Markierfiles übertragen werden. Dies ist auch für Schraffurarten und Variablen möglich und beschleunigt die Verarbeitung.

#### **APPLIKATIONSDIENSTLEISTUNG**

Prozesse werden durch eine Fülle von Parametern beeinflusst. Wer sie anzupassen weiß, kann Prozesse dementsprechend optimieren. TRUMPF unterstützt Sie individuell dabei in einem unserer Applikationslabore, ob durch ein Telefonat mit dem Technischen Kundendienst oder vor Ort.



## 3.4 ABLÄUFE DEFINIEREN

### ABLAUFPROGRAMMIERUNG

Das Ablaufprogramm kann sämtliche Maschinenfunktionen in Verbindung mit einer TruMark Station steuern. Über den Editiermodus können die Ablaufprogramme geschrieben oder geändert werden.

Damit die Ablaufroutine einfach zu erstellen ist, wurde das visuelle Softwareprogramm **QuickFlow** entwickelt. Mit einem einfachem Pick-and-drop lassen sich Programme erstellen, die den kompletten Markierzyklus von Anfang bis Ende steuern. Noch flexiblere und umfangreichere Möglichkeiten bieten sich mit der **WSTX-Ablaufprogrammierung**, die für das TruTops Mark Modul Interface verwendet wird.

### TRUTOPS MARK MODUL INTERFACE (TTM-MI)

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle ermöglicht spezifische Software-Anpassungen. So wird die Kommunikation zwischen dem Laser (TruTops Mark) und anderen Systemen, Datenbanken, Werkzeugen oder Robotern programmiert.

**Standardisierte Modul-Schnittstellen** für verschiedene Anforderungen lassen sich einfach in jeden Produktionsprozess einbinden. Dazu gehören:

- **Basis-Modul** für Grundfunktionen wie Laden, Speichern, Markieren und Achsenkommandos, Variablen, Markiervorschau, Status/Fehler, Zykluszeit
- **Scan-Modul** zum Scannen von Eingangsdaten, Mehrfach-Scan-Input, GS1-Standard-Überprüfung
- **Database-Modul** für die Verbindung zu Datenbanken durch den Datenbankassistenten und die Ausführung von Datenbankkommandos (verfügbar: SQL Server, OLEDB, Oracle, MySQL, SQLite, PSQL)
- **Kameramodul** für die VisionLine-Funktionalität, Autofokus-Funktion, Auslese-Funktion etc.
- Spezielles **UDI-Modul** für die Medizintechnik, das die Konfiguration des Device Identifier (DI) und Production Identifier (PI) erlaubt. So lassen sich UDI-Codes nach Standards wie GS1, HIBC oder ISBT 128 direkt erstellen.
- Passen die standardisierten Module nicht, so können auch perfekt auf die Anforderung zugeschnittene Module programmiert werden.

Anwender gewinnen dadurch vollständig automatisierte Prozesse, Fehlerquellen werden eliminiert. Der gesamte Prozess sowie die Prozessergebnisse können in einer Datenbank hinterlegt werden.

*Mehr zu diesem Ablauf als Beispiel in Kapitel 1.4 „Medizintechnik“.*





## 3.5 MARKIEREN

### ARBEITSPLÄTZE

Wenn der Laser automatisiert hergestellte Massenprodukte beschriftet, ist er beziehungsweise die Bearbeitungsstation in die Produktionsanlage integriert, denn im Allgemeinen ist das System kundenspezifisch konfiguriert. Praktisch sind hierbei bestimmte, an spezifische Anforderungen angepasste Systeme. Für kleine Serien und ein breites Teilespektrum bieten sich unabhängige **Stationsarbeitsplätze** an, in die das Werkstück zumeist manuell eingelegt und entnommen wird. Sie enthalten den Laser, einen abgeschlossenen Arbeitsbereich mit Werkstückhalterung und Absaugung sowie die Bedienschnittstelle mit Monitor, Tastatur und Maus, über die der Prozess gesteuert wird.

Beschriftungsmaschinen gibt es in vielen Ausführungen für unterschiedlich große und unterschiedlich geformte Werkstücke. Wenn es große Flächen zu beschriften gilt, ist die Werkstückhalterung beweglich. Sie kann das Werkstück in ein oder zwei Achsen bewegen (Flächensegmentierung) und bei Bedarf auch drehen (Rundachsen-segmentierung).

### BILDFELD-SEGMENTIERUNG

Werkstückpaletten können in einem Zug markiert werden—inklusive variabler Daten, die auf jedes Bauteil aufgebracht werden. Kurze Brennweiten für feine Strichstärken sind auch bei hohem Durchsatz möglich, das Markierfeld wird dafür anhand der X-Y-Achsen segmentweise weitergetaktet.

*Für die Bildfeld-Segmentierung stehen zwei Optionen zur Wahl:*

- Die **Segmentierung für die X-Y-Achsen** ermöglicht das Beschriften von großen Werkstückflächen über das Markierfeld hinaus beziehungsweise das Palettiertens von Werkstücken. Die Segmentgröße ist zeilen- und spaltenweise frei definierbar.
- Mit der **Segmentierung für eine Drehachse** lassen sich Umfangsbeschriftungen auf zylindrischen Werkstücken anfertigen. Die Segmentgröße und der Winkel sind frei definierbar. Die Programmerstellung erfolgt in der Editor-Oberfläche.



Durch die Bildfeld-Segmentierung können Paletten in einem Zug markiert werden.

### **MARKIERVORSCHAU**

In der Markiervorschau kann der Beschriftungsinhalt vor der eigentlichen Markierung geprüft werden. Das Anzeigefeld bildet das laufende Markierprogramm in einer verkleinerten Wiedergabe des CAD-Editors ab.

### **MARKIERBAUM**

Die Reihenfolge und Gruppierung von Objekten im Markierbaum bestimmt die Reihenfolge bei der Bearbeitung. Nach Initialisierung einer Markierdatei angelegte geometrische Objekte werden zunächst in der Reihenfolge der Erstellung im Markierbaum markiert.

### **MARKIERZEIT**

Die Reihenfolge im Markierbaum hat Einfluss auf die Markierzeit. Optimalerweise sollten Sprünge im Markierfeld möglichst minimiert werden. Dabei helfen die Markierzeitsimulation für Einzelobjekte sowie eine Markierzeitvorauswahl. Für die Überprüfung der Laufzeit einer Applikationsaufgabe im Vorfeld sind keine Schätzwerte nötig. Dies verringert die Durchlaufzeit. Bei Vorgabe der Taktzeit können Parameter sogar über die Option Magic 5 automatisch angepasst werden.

## PRODUKTIONSMODE

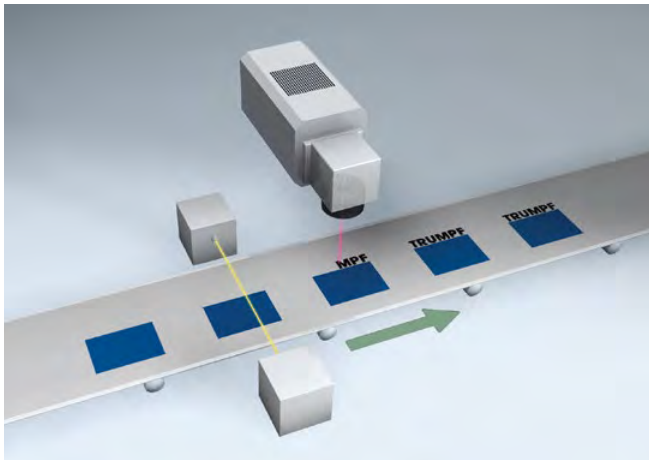
Im Produktionsmode wird während der Markierung der Dateiname angezeigt und der Markierinhalt im Vorschauenster angezeigt. Nach Beendigung der Markierung werden die Zykluszeit, die produzierte (oder noch zu produzierende) Teileanzahl sowie die mittlere Zykluszeit über x Markiervorgänge ausgewiesen.



Alle wichtigen Informationen im Überblick im Produktionsmode.

## MARKING ON-THE-FLY (MOF)

Mit MOF können Werkstücke während des Fertigungsprozesses markiert werden, ohne das Fließband anhalten zu müssen. MOF überlagert die Bewegung des zu markierenden Objekts mit der Bewegung des Laserstrahls, damit die Markierung nicht verzerrt wird. Der Werkstücktransport wird über Encodersignale kontinuierlich gemessen, um bei Anfahr- und Abbremsvorgängen die Markierung mit gleichbleibender Qualität auszuführen.



Markieren bei laufendem Fließband.

## 3.6 ÜBERPRÜFEN DER QUALITÄT UND LESBARKEIT

Qualität ist ein dehnbarer Begriff und Laserbeschriften unterliegt oft vorgegebenen Zykluszeiten. Sehr kurze Zykluszeiten verlangen nach einem Kompromiss aus geforderter Taktzeit und machbarer Beschriftungsqualität.

### QUALITÄT VON LASERBESCHRIFTUNGEN

*Folgende Merkmale geben Auskunft über die Qualität einer Laserbeschriftung:*

- Kontrast und Farbe – deutliche Abhebung vom Grundmaterial
- Homogenität und Gleichmäßigkeit im gesamten Schriftbild
- Beständigkeit (auch gegenüber Säuren, Laugen und Korrosion), Kratzfestigkeit und Abriebfestigkeit
- Konturtreue und Detailschärfe (wichtig für die Dekodierung von Codes)
- Positionier- und Maßgenauigkeit, Größe und Form nach Vorgabe
- Gegebenenfalls Gravurtiefe, zum Beispiel um eine bestimmte Verschleißfestigkeit zu erhalten
- Gegebenenfalls Spurbreite von Symbolen
- Gratfreiheit, etwa bei medizinischen Instrumenten oder Beschriftungen auf Passflächen

Handelsübliche Farbmessgeräte oder Leuchtdichtemessungen quantifizieren den Kontrast – in der Praxis nutzen Anwender allerdings eher eine visuelle Bestimmung. Da manche Effekte gegenläufig sind – zum Beispiel ein stärkerer Kontrast oft nur in Verbindung mit einer stärkeren Oberflächenrauheit möglich ist – spielen hier die jeweilige Anwendung und individuelle Anforderung eine entscheidende Rolle.

## QUALITÄT VON CODES

Die Lesbarkeit von Barcodes oder Data Matrix Codes sollte direkt nach dem Markieren mit einem geeigneten Kamerasystem geprüft und die Güte des Codes überprüft werden.

*Folgende Punkte machen einen optimalen Code aus:*

- Höchstmöglicher Kontrast
- Hohe Kantenschärfe der Zellen
- Je nach Hintergrund eine zusätzliche Ruhezone (Hellfeld ringsum, mindestens so breit wie die zweifache Modulgröße)
- Größenverhältnis von gelaserten Zellen und Zwischenräumen beträgt möglichst 1:1
- Hohe Homogenität der gelaserten Zellen
- „Closed Border“ und „Broken Border“ sind durchgängig



Kamerasysteme überprüfen die Qualität von Codes.



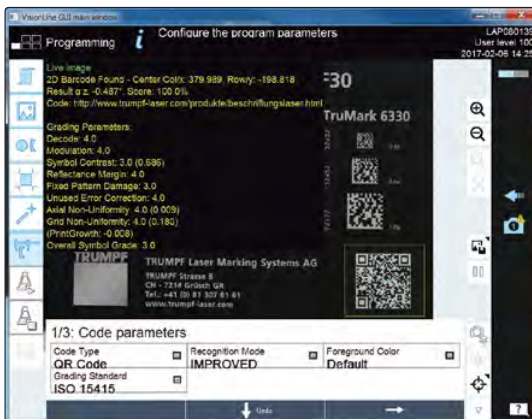
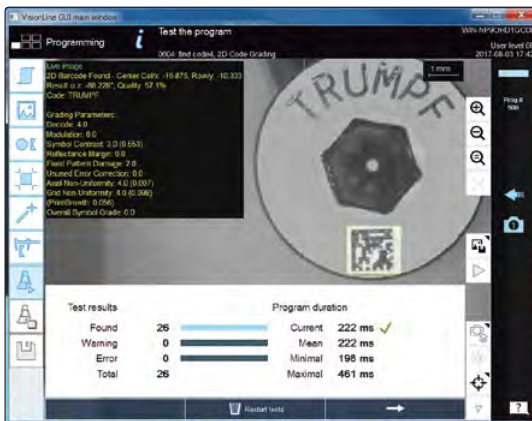
Video: VisionLine für Markiersysteme – Alles im Blick  
[www.trumpf.info/b742ti](http://www.trumpf.info/b742ti)

Das Bildbearbeitungssystem **VisionLine** unterstützt auch bei der Qualitätsbestimmung von 2D-Codes (Data Matrix oder QR). Die Software bezieht Informationen aus Dateien oder Datenbanken, wandelt diese in Codes um und markiert sie.

Direkt nach dem Markierprozess liest eine Kamera den generierten Code auf dem Bauteil aus und gleicht die Inhalte mit den erhaltenen Informationen ab. So ist sofort sichergestellt, dass der Code wirklich lesbar ist und die Inhalte mit den Ausgangsinformationen übereinstimmen. Die Option Quality Grading bewertet die Qualität des markierten Codes – angelehnt an die Norm für Direktmarkierung – von Data Matrix-Codes und dokumentiert das Ergebnis.



Die Software VisionLine überprüft per Kamerasystem automatisch die Lesbarkeit und den Inhalt von Codes.





## 3.7 APPLIKATIONSUNTERSTÜTZUNG UND SERVICE

### TRUMPF LASER APPLICATION CENTER

Service beginnt, bevor sich der Anwender für einen spezifischen Laser entschieden hat. Bei dieser Wahl unterstützen weltweit die Laser Application Center von TRUMPF. Anhand von Musterbauteilen und einem Anforderungskatalog definieren hier Ingenieure im Zusammenspiel mit dem Kunden Prozesse und Anlagen. Hierzu werden Tests mit Lasern der gesamten Produktpalette durchgeführt, um die beste Kombination aus Markierqualität und Bearbeitungszeit herauszufinden.

*Möglichkeiten im TRUMPF Laser Application Center:*

- Vollständiger Zugriff auf den TRUMPF Maschinenpark
- Tests mit allen Lasertypen
- Tests mit allen Brennweiten
- Maschinenvorführungen
- Applikationstests und Prozessentwicklung
- Prüfen der Bearbeitungsqualität, beispielsweise das Verifizieren von Codes

### TRUMPF SCHULUNGEN

Um den Laser optimal einzusetzen, bietet TRUMPF Anwendern eine Vielzahl an Trainings. Es gibt sie für alle Qualifizierungsstufen, vom Anfänger bis zum langjährigen Laseranwender.

*Vorteile von TRUMPF Schulungen:*

- Trainings direkt an der Maschine
- Je nach Bedarf theoretische und praktische Inhalte
- Einsteiger- bis Expertenniveau
- Weltweites Netzwerk an Schulungszentren

#### **REMOTE SERVICES**

Mit den Monitoring- und Analyseprodukten von TRUMPF können Anwender jederzeit den Überblick über ihre Anlagen und Prozesse bewahren. Zustände und Abläufe können in Echtzeit überwacht werden – Maschinen- und Produktionsstillstände können so vermieden werden. Außerdem können hiermit Verbesserungspotenziale identifiziert werden, die Produktionszeit und -kosten verringern.

#### **WELTWEITE UNTERSTÜTZUNG**

TRUMPF bietet ein globales Servicenetzwerk von der Installation über die Instandhaltung bis zur Reparatur. Viele Probleme lassen sich per Ferndiagnose lösen. Falls dies nicht möglich ist, löst ein Servicetechniker vor Ort das Problem.

TRUMPF ist zertifiziert nach ISO 9001  
(Nähere Informationen: [www.trumpf.com/s/quality](http://www.trumpf.com/s/quality))

Ident-Nr. 2493423\_201906 – Änderungen vorbehalten



TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH  
[www.trumpf.com](http://www.trumpf.com)