

# Wirtschaftliche Glasmarkierung mittels Festkörperlaser

Ein neues Lasermarkierverfahren ist bestens geeignet, Brillengläser aus Kunststoff oder Mineralglas und technische Gläser, z. B. vergütete Quarzoptiken, mit hoher Auflösung dauerhaft, fälschungssicher und mit variierbarem Kontrast zu markieren. Die Markierung kann sowohl z. B. für Marketingzwecke (Logo) auffällig als auch dezent („Hauchlogo“) erstellt werden. Der vorgestellte laserbasierte Prozess erlaubt die Beschriftung aller Festkörpertargets, wobei keine mechanische und eine vernachlässigbare thermische Belastung auf das Werkstück ausgeübt werden. Durchsatz und Gesamtlebenskosten sind deutlich oberhalb bzw. unterhalb von heutzutage kommerziell eingesetzten Verfahren.



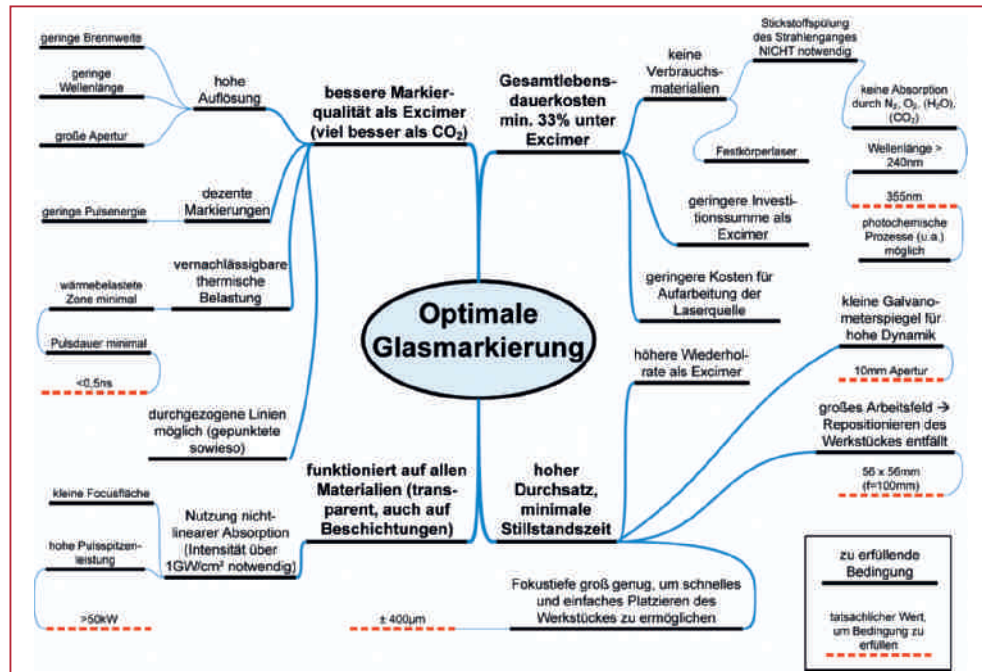
Abb. 1: Schwach kontrastierende, zentrische Marketingmarkierung auf hochbrechendem Polymer, erstellt mit dem vorgestellten Verfahren, in der Praxis wäre eine derartige Markierung am Rand der Linse.



Abb. 2: Stark kontrastierende Marketingmarkierung auf getöntem Mineralglas, erstellt mit dem vorgestellten Verfahren, in der Praxis wäre eine derartige Markierung am Rand der Linse.

Das dauerhafte Markieren mit hoher Auflösung von im sichtbaren Wellenlängenbereich transparenten (im Folgenden als „vis-transparent“ bezeichnet) Werkstücken ist aus technischer Sicht herausfordernd. Brillenglaserhersteller wollen Beschriftungen für Marketingzwecke (v.a. Herstellerlogos) am Rand des Glases aufbringen. Aus Gründen der Ästhetik ist günstig, wenn Opazität (lichtdurchlässig, aber undurchsichtig, z.B. bei „satiniertem Glas“ oder „Milchglasscheibe“) oder gar Opaleszenz (reflektierte Farbe ändert sich mit Beobachtungs- und Einfallswinkel, „das Schillern in allen Farben“) erreicht werden kann.

Technische Markierungen, z. B. Referenzpunkte des Brillenglases,



**Der Autor**

Dipl.-Ing. Dr. Gernot Schrems leitet das High Speed Marketing der Trotec GmbH in Marchtrenk, Österreich.

# Lasermarkieren

---

Produktbezeichnungen, Plagiatschutz, sind oft auch im Zentrum der Linse anzubringen. Diese Kennzeichnungen sollen einerseits dezent sein, um den Brillenträger nicht zu irritieren, andererseits müssen sie eindeutig sichtbar sein, z. B. für den Augenoptiker. Derartige Markierungen treten stärker hervor, wenn ein dünner Flüssigkeitsfilm an der Brille kondensiert – daher oft als „Hauchlogo“ bezeichnet. Um eine technische Markierung zu kreieren, muss die Strichbreite deutlich geringer als 0,1 mm sein. Liegt sie nur knapp darunter, kann der Kontrast dadurch reduziert werden, in dem die Markierung gepunktet erfolgt und nicht als durchgezogene Vektoren. Dies erhöht die Markiergeschwindigkeit und damit den Durchsatz.

## Vis-transparente Polymere

Zu markierende Materialien sind mineralische Gläser und vis-transparente Polymere wie CR39, Polycarbonat, PMMA („Plexiglas“) und andere. Mineralische Gläser sind im oben angegebenen Sinn schwer zu markieren, da sie

- hart und spröde sind, somit für mechanische Verfahren ungeeignet.
- empfindlich gegen lokalen Wärmeeintrag; dieser führt zu thermischen Spannungen und zu Ausbrüchen. CO<sub>2</sub>-Laser sind meist ungeeignet.
- Die Absorptionsspektren sind ungünstig für laserbasierte Verfahren, z. B. Natron-Kalk-Glas oberhalb von 320 nm transparent, hochreines Quarzglas (z. B. Suprasil) von etwa 170 nm bis 2,2 µm.

Für die Brillenindustrie typische vis-transparente Polymere können – speziell für technische Markierungen – meist nur mittels Laser markiert werden. Dafür sind aber die Absorptionsspektren oft ungünstig. Zusätzlich können Thermoplaste (z. B. Polycarbonat, Plexi, ...) Schmelzaufwürfe bilden und dadurch die Markierungsqualität stark reduzieren:

- CR39: schwache Absorption ab etwa 350 nm bis mindestens 800 nm, Duroplast (daher keine Schmelzaufwürfe),
- Polycarbonat schwacher Absorber von ~ 400 nm bis ~ 1500 nm, Thermoplast → Schmelzaufwürfe möglich,
- PMMA schwache Absorption zwischen ~ 220 nm bis ~ 2800 nm, Thermoplast → Schmelzaufwürfe möglich.

Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass die Werkstücke unterschiedlich und gegebenenfalls auch mehrfach beschichtet sein können: Hartlack für erhöhte Kratzfestigkeit, Entspiegelungsschichten und schmutzabweisende Schichten. Unabhängig von Art und Anzahl der Schichten muss eine Beschriftungstechnologie zuverlässige und reproduzierbare Resultate bringen.

In kommerziellen Anwendungen ist zwingend erforderlich, dass Stückkosten, Taktzeit, Rüstzeit, Stillstandszeit und Kosten für Arbeitssicherheit, Umweltverträglichkeit und Energie minimal werden. Die aktuell beste Kennzeichnungstechnologie,

nämlich Excimer Laser, erlaubt qualitativ hochwertige Markierungen.

Linke Seite, Abb. 3: Mindmap für wirtschaftliche Lasermarkierung von vis-transparenten Targets.

Kommerziell gesehen ist dieser Lasertyp für diese Anwendung allerdings wenig verbreitet, da neben relativ hohen Investitionskosten vor allem die laufenden Kosten für Verbrauchsmaterialien zu beträchtlichen Stückkosten führen.

## Stand der Technik

Mechanische Verfahren (Gravierer, Präger) sind bezüglich der erzielbaren Auflösung zu stark limitiert. Die mechanische Belastung sowohl durch den Markierprozess als auch durch das notwendige Aufspannen verbietet dieses Verfahren für alle mineralischen Gläser. Das mechanische Werkzeug, falls es für hohe Auflösung überhaupt sinnvoll machbar ist (geringe Abmessungen – Bruchgefahr), hätte außerdem zu hohen Verschleiß bei Gläsern und auf Hartbeschichtungen.

Druckverfahren (Ink-Jet, Tampondruck) als Alternative sind zwar kostengünstig, relativ schnell und auch färbig möglich. Dennoch ergibt sich der Nachteil der oft geringen Haltbarkeit und der dürftigen Fälschungssicherheit. Auf schmutzabweisenden Oberflächen (Fluor-Verbindungen, „Lotos-Effekt“-Oberflächen) sind Druckverfahren generell ungeeignet.

CO<sub>2</sub>-Lasersysteme mit Ablenkeinheit („Galvanometer“ oder „Scanner“) haben eine relativ niedrige Auflösung bis etwa 200 dpi. Auf den meisten mineralischen Gläsern sind sie nicht geeignet wegen des Wärmeeintrages und den damit induzierten thermischen Spannungen, die meist zu Absplitterungen oder auch zu Rissen führen können. Die relativ langen Pulsdauern von mindestens 0,2 ms führen zu großen wärmebelasteten Volumina und zu – meist nicht gewollten – Schmelzaufwürfen auf mineralischen Gläsern und Thermoplasten. Falls die gebotene Auflösung jedoch ausreichend ist und Markierungen nur für Marketingzwecke am Rand des Glases aufgebracht werden sollen (keine technischen Markierungen), kann ein CO<sub>2</sub>-Laser die wirtschaftlichste Lösung darstellen.

Excimer-Laser: Meist wird dieser Lasertyp zur Glasbeschriftung mit Argon-

**Abb. 4: Markierung auf Polycarbonat, gepunktete Markierung (links) mit niedrigem Kontrast und durchgezogene Vektoren für hohen Kontrast (rechts).**

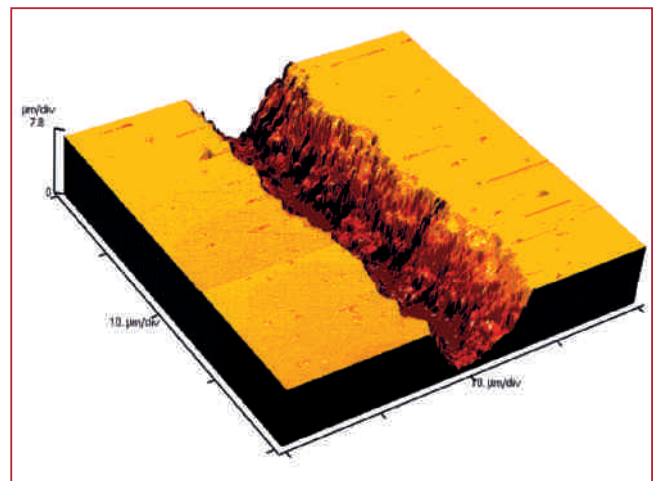


fluorid (ArF) betrieben, d. h. die Emissionswellenlänge beträgt 193 nm. Bei dieser Wellenlänge absorbieren fast alle gängigen Brillenglasmaterialien. Technische Optiken aus Quarz (fused silica) jedoch erst bei noch kürzeren Wellenlängen (z. B. „Suprasil“ erst unterhalb von etwa 170 nm). Excimer-Laser, die zur Beschriftung von vis-transparenten Targets verwendet werden, haben folgende Eigenschaften:

- ⊕ hohe Auflösung wegen kurzer Wellenlänge → ästhetisch ansprechend, Beschriftungen mit Zeichenhöhen < 150 µm möglich;
- ⊕ geringer Wärmeeintrag und kleine wärmebeeinflusste Zone wegen hoher Spitzenleistung, kurzer Pulse (typ. 5 ns) und photochemischer Prozesse;
- ⊖ geringe Abtragstiefe: gut, wenn so gewollt, schlecht wenn leicht entferbar;
- ⊖ meist nur dot-fonts (gepunktete Schriften): gut, wenn gewünscht, schlecht wenn durchgezogene Vektoren gefordert;

- ⊖ teuer bezüglich der Investition und Betriebskosten: periodischer Gaswechsel, periodisch notwendiger Spiegeltausch, relativ hoher Stromverbrauch (1 kW bis 2 kW für Laser selbst);
- ⊖ Fluor in Gasmischung (Verbrauchsgas): Die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen für Arbeitssicherheit ist aufwändig, da hochgiftig;
- ⊖ Laserquelle hat viele Edelstahlteile, um Korrosion durch Fluor zu verhindern → hohes Gewicht der Strahlquelle (> 50 kg);
- ⊖ Bei der Wellenlänge 193 nm (ArF) muss der Strahlengang mit Stickstoff gespült werden, da der Luftsauerstoff unter Bildung von Ozon absorbiert. Molekularer Sauerstoff (O<sub>2</sub>) absorbiert unterhalb von etwa 240 nm;
- ⊖ Aufwärmzeit: Excimer hat typisch erst nach mehr als 10 min Betrieb volle und stabile Leistungsabgabe;
- ⊖ Auch bei einer Laserquelle, die NICHT in Betrieb ist (z. B. Ersatz-

**Scan mit Atomkraftmikroskop: Markierung von CR39, abgebildete Fläche 40µm x 40µm, Grabenbreite (an der Oberflächenebene): 12 µm ± 1,1 µm, Grabentiefe: 7 µm ± 0,5 µm, Verfahrensgeschwindigkeit 2 mm/s.**



teillager), muss periodischer Gaswechsel durchgeführt werden → Handlingaufwand und Kosten.

## Lösungsfindung und technische Realisierung

Ein System, das beschichtete und unbeschichtete vis-transparente Targets in hoher Qualität bei deutlich niedrigeren Gesamtlebenskosten im Vergleich zu Excimer-Systemen markieren kann, muss folgende Eigenschaften haben:

- kurze Wellenlänge, um hohe Auflösung zu erreichen – aber oberhalb von 240 nm, um Strahlengangspülung zu vermeiden,
- kurze Pulse, damit die wärmebeeinflusste Zone minimal wird,
- es sollen alle vis-transparenten Materialien unabhängig von deren möglicher Beschichtung beschriftbar sein.

Um alle Materialien bearbeiten zu können, muss der Laser nichtlineare Absorption anregen können. Dies bedeutet, dass absorbierte Leistung und eingestrahlte Leistung nicht mehr proportional zueinander sind. Nichtlineare Absorption tritt bei jedem Festkörper auf, der mit Licht einer Intensität oberhalb von etwa  $1 \text{ GW/cm}^2$  bestrahlt wird.

Die Absorption erfolgt hierbei völlig unabhängig vom jeweiligen Absorptionsspektrum, d.h. die hohe Intensität „zwingt“ den Festkörper zur Absorption.

Die hohe Intensität von über  $1 \text{ GW/cm}^2$  ist mit etlichen Laserquellen – v.a. Piko- und Femtosekundenlasern – zu erreichen. Zwei Aspekte erschweren jedoch die Entwicklung oder Suche einer derartigen Quelle stark:

- Die Pulsenergie sollte gering sein, da sonst ein zu großes Volumen pro Puls ablatiert würde und damit die hohe Auflösung nicht mehr möglich ist.
- Die Laserquelle muss geringere Investitionskosten und viel niedrigere Betriebskosten als die eines Excimer-Lasers haben.

Da die Wartungsintervalle möglichst hoch bzw. die Anzahl der Benutzereingriffe möglichst niedrig sein sollen, eignen sich die meisten Femto-

und Pikosekundenlaser nicht für diese Anwendung.

## Technische Realisierung

Ein speziell aufgebauter, frequenzverdreifachter Nd:YAG-Laser mit passivem Q-Switch ist Grundlage für das galvanometerbasierte Lasersystem. Mit dieser und einem entsprechend gestalteten Strahlengang können alle oben skizzierten Forderungen erfüllt werden:

- Fokusfläche ist so, dass mit der vorhandenen Spitzenleistung von deutlich über 50 kW nichtlineare Absorption erreicht wird,
- ausreichende Fokustiefe ( $\pm 0,4 \text{ mm}$ ) für einfache Positionierung und Bearbeitung leicht gekrümmter Targets,
- 2D-Galvanometerscanner mit hoher Dynamik und f-theta Linse für genügend großes Arbeitsfeld von  $56 \text{ mm} \times 56 \text{ mm}$ ,
- genügend große Wiederholrate für hohen Durchsatz.

## Fazit

Das vorgestellte Verfahren erlaubt hochauflösende Markierungen mit variablem Kontrast unter Ausnutzung nichtlinearer Absorption auf allen Festkörpertargets (unabhängig von deren Absorptionsspektren). Durch die verwendete Pulsdauer von deutlich unterhalb einer halben Nanosekunde und die geringe Pulsenergie sind auch auf mineralischen Gläsern keine Sprünge sichtbar. Das Lasersystem eignet sich daher besonders für relativ kleine, hochauflösende Beschriftungen auf hitzeempfindlichen, spröden und / oder transparenten Werkstücken. Beschriftungsanwendungen, die bisher mit Excimer-Laser durchgeführt wurden, können oftmals durch das beschriebene Verfahren bei wesentlich geringeren Gesamtlebenskosten und wesentlich höherem Durchsatz ersetzt werden.

### KONTAKT

Trotec GmbH  
[www.trotec.net](http://www.trotec.net)