



Schwebende Kunstwerke

Mit geschickt fokussierten leistungsstarken Lasern lassen sich in transparenten Glaswürfeln dreidimensionale Bilder erzeugen.

Sabrina Patsch

Im Innenhof des Jakob-Kaiser-Hauses in Berlin, keine fünf Gehminuten vom Brandenburger Tor entfernt, stehen 19 drei Meter hohe Glasplatten. In jede ist auf Augenhöhe einer der 19 Grundrechtsartikel des deutschen Grundgesetzes eingraviert: „Artikel 1. (1) Die Würde des Menschen ist unantastbar.“ Die Worte schweben im Inneren des Glases, die Oberfläche ist unbeschädigt: Sie sind vor Wind und Wetter, Kratzern oder Rissen geschützt.

Das „Grundgesetz 49“ hat der israelische Künstler Dani Karavan mit Glasinnengravur geschaffen – einer Technik, mit der sich auch Souvenirs, Werbegeschenke und Geschenkartikel herstellen lassen. Meist schweben in kleinen transparenten Glaswürfeln dreidimensionale Sehenswürdigkeiten, Firmenlogos oder Familienfotos. Der Kreativität sind keine Grenzen gesetzt.

Die Glasinnengravur (Subsurface Laser Engraving, SSLE) nutzt leistungsstarke Laser und ist der Oberflächengravur von Glas sehr ähnlich (Abb. 1). Üblicherweise kommt ein Nd:YAG-Laser zum Einsatz. Im gepulsten Betrieb erreicht der Festkörperlaser sehr hohe Leistungen von einigen hundert Megawatt – genug, um im Brennpunkt die Zerstörungsschwelle von Glas zu überschreiten. Ab dieser Schwelle beschädigt oder verändert ein Laser das Material oder die Beschichtung einer Optik dauerhaft. Meist wird die Zerstörungsschwelle als maximale Energiedichte des Laser-

pulses im Fokus angegeben; sie hängt von den Eigenschaften des Lasers ab, wie Frequenz, Pulswiederholungsrate und Pulsdauer, und vom Material der Optik. Beim Überschreiten der Zerstörungsschwelle bilden sich Ionen und eine mikrometergroße Plasmablase. Der thermisch zerstörte Bereich streut einfallendes Umgebungslicht diffus und erscheint als weißer Punkt.

Im Inneren fokussiert

Bei der Glasinnengravur liegt der Fokus des Lasers nicht auf der Oberfläche des Glasblocks, sondern in seinem Inneren. Der Nd:YAG-Laser strahlt mit einer Wellenlänge von 1064 nm bzw. frequenzverdoppelt 532 nm, sodass die Glaswürfel bei der Gravur meist grün leuchten. Das Material des Würfels muss für diese Wellenlänge transparent sein, sonst wird das Laserlicht gestreut, gebeugt oder absorbiert. Für die Glasinnengravur eignen sich daher hochwertige, optische Materialien mit geringer Dispersion wie Borosilikat-Kronglas; Alternativen sind thermoplastische Kunststoffe, Saphir oder Diamant.

Gepulste Laser bieten gegenüber kontinuierlicher Strahlung zwei Vorteile. Erstens verringern sie die Wahrscheinlichkeit, das Glas makroskopisch zu beschädigen. Der Laser generiert ein dreidimensionales Bild aus mehr als Tausend Mikrofrakturen, die ein scheinbar kontinuierliches Bild ergeben: Bei der hohen Punktdichte

zeigen sich die einzelnen Punkte nur beim genauen Hinsehen. Liegen zwei eingravierte Punkte zu dicht beieinander oder überlappen, können sich Risse oder größere Frakturen im Glas bilden, sogenannte „Clashes“. Treten davon zu viele auf, ist das Bild nicht mehr erkennbar. Ein kontinuierlicher Laserstrahl graviert keine Punkte, sondern großflächige Furchen in das Material. Zweitens besitzen Laser im gepulsten Betrieb eine deutlich längere Lebensdauer als im kontinuierlichen. Ein Gerät zur Glasinnengravur kostet mehrere Zehntausend Euro, wovon die Kosten der Laserdiode einen Großteil ausmachen. Um den Laser zu schonen und Kosten zu sparen, arbeiten manche Anbieter mit einer geringen Punktdichte.

Ein hochauflösendes, dreidimensionales Bild entsteht, wenn Spiegel den Brennpunkt des Lasers präzise verschieben. Handelsübliche Geräte bieten eine Auflösung von 800 bis 1200 dpi, also etwa 30 bis 50 Punkte pro Millimeter. Bei einem Fokusedurchmesser von 20 Mikrometern ergibt sich ein Punktabstand zwischen einem und zehn Mikrometern. Moderne Galvanometer kontrollieren die Position des Brennpunkts in einer Ebene. Ihr flacher Spiegel lenkt den Laserstrahl ab, indem ein Motor den Spiegel proportional zum angelegten Strom kippt. Bei hochwertigen Geräten erhöht ein Positionsdetektor die Präzision, indem er den Winkel des Spiegels automatisch justiert. Die

dritte Koordinate ergibt sich aus der Position des Glasblocks, der sich auf einem höhenverstellbaren Podest befindet. Die meisten Geräte brennen 500 bis 3000 Punkte pro Sekunde ins Glas, sodass ein Geschenkwürfel nach wenigen Minuten fertiggestellt ist.

Als russische Physiker die Technik 1970 entwickelten, konnten sie nur einen Punkt pro Sekunde in das Glas eingravieren. 1997 gelang es dem Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) in Dresden, die Pulswiederholungsfrequenz auf 500 Hz zu erhöhen. Ein Jahr später nutzte Vitro Laser als erste Firma das Verfahren professionell – sie fertigte auch das „Grundgesetz 49“. Die erste Demonstration der Glasinnengravur erfolgte 1999 auf der Hannover Messe, einer internationalen Messe für Technologie und industrielle Transformation.

Damit aus einem Foto oder Objekt ein dreidimensionales Bild entsteht, gilt es, die zugehörige Punktwolke zu berechnen. Grob gilt: Je mehr Punkte in einem Bereich liegen, desto heller erscheint das Bild dort. Theoretisch variiert die Bildhelligkeit auch mit der Größe der Mikrofrakturen. Diese ist aber nur schlecht anzupassen, weil sie vom Durchmesser des Laserfokus und vom Kristallmaterial abhängt.

Drei gängige Wege erzeugen ein dreidimensionales Bild. Eine Vektorgrafik lässt sich meist problemlos in eine Punktwolke umrechnen. Auch zweidimensionale Fotos kann der Computer in dreidimensionale Bilder umwandeln, die einer Faschingsmaske ähneln: Nur die Form des Gesichts

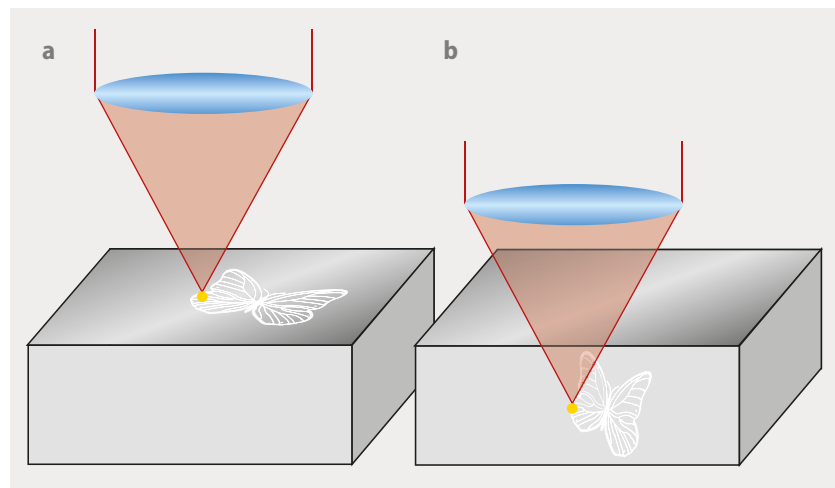


Abb. 1 Während bei der Oberflächengravur (a) ein Linsensystem (blau) den Brennpunkt (gelb) des Laserstrahls (rot) auf der Oberfläche des Materials fokussiert, liegt bei der Glasinnengravur der Fokus im Material (b).

wird modelliert, der Hinterkopf bleibt ausgespart. Der Realität am nächsten kommt ein 3D-Scan; allerdings verfügen nur wenige Geschenkshops über die teuren Geräte.

Für das 3D-Scannen gibt es verschiedene Ansätze, je nach Entfernung zum Objekt. Die Streifenprojektion erzeugt dreidimensionale Abbilder kleiner Objekte und funktioniert ähnlich wie das Laserscanning. Ein 3D-Scanner besteht meist aus einer Lichtquelle, zwei Kameras und einem Drehtisch. Die Lichtquelle bestrahlt das Objekt auf dem Tisch mit einem Muster aus unterschiedlich breiten Lichtstreifen; die seitlich platzierten Kameras registrieren das projizierte Streifenmuster. Anschließend dreht sich das Objekt ein Stück weiter, und die Prozedur wird wiederholt. Aus der Folge der Helligkeitswerte setzt ein

Computer ein dreidimensionales Abbild zusammen. Weil Texturen, Farbe, Schatten sowie durchsichtige oder reflektierende Flächen die Detektion des Streifenmusters stören oder nicht auflösbar sind, ist es wichtig, das Objekt gleichmäßig auszuleuchten.

Die fehlende Farbauflösung stört nicht, weil die schwebenden Bilder in den Glasblöcken immer weiß erscheinen: Die Mikrofrakturen streuen das einfallende Licht, ändern aber seine Frequenz nicht. Einige Hersteller bauen im Sockel des Glaswürfels farbige Lichtquellen ein, sodass die Bilder zumindest in einer Farbe leuchten.

Die Autorin

Dr. Sabrina Patsch, Volontärin beim Tagespiegel, www.physicus-minimus.com

Physik Journal
Dossier:
Physik im Alltag

Hier geht's direkt zum Dossier
Physik im Alltag:
... oder über
www.physik-journal.de

Bilder: Adobe Stock