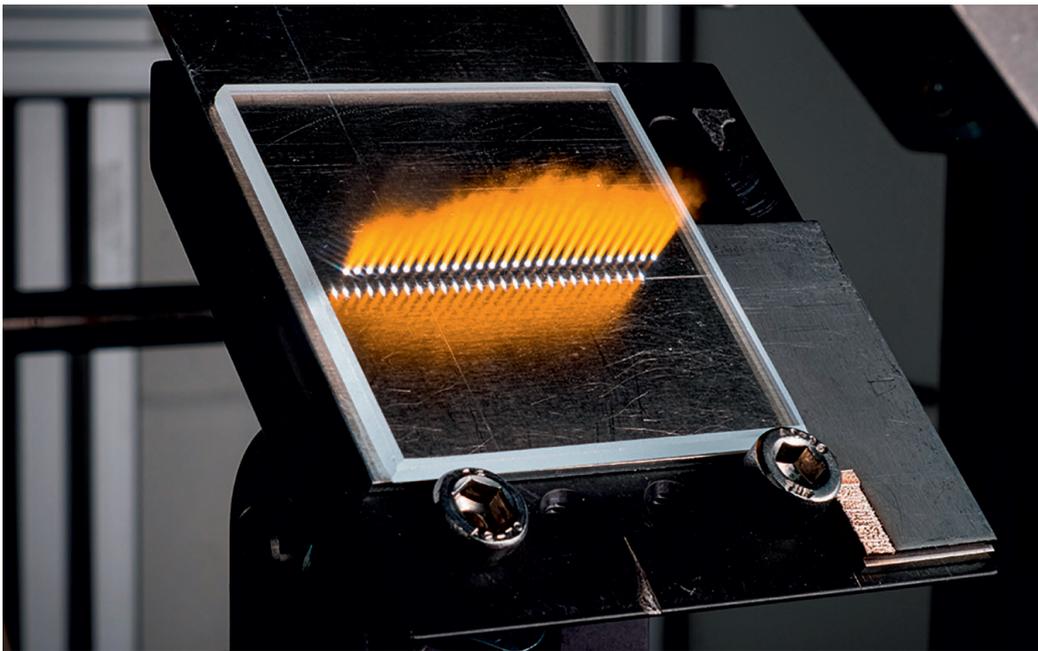


# Glas und Kunststoff vereint

## Neuartige Glas-Kunststoff-Hybridverbindungen mittels präziser Laserstrukturierung

Transparente Funktions- und Designelemente setzen sich oftmals aus Glas- und Kunststoffmaterialien zusammen. Sie mithilfe von Klebstoffen oder Haftvermittlern zu verbinden, kann jedoch problematisch sein, da Klebstoffe nur bedingt alterungsbeständig sind und Glas meist schlecht benetzbar ist. Ein zweistufiges Verfahren, bei dem ein Laser zunächst mikro- und nanoskalige Strukturen im Glas erzeugt, in die später Kunststoffschmelze eindringen kann, erlaubt hochfeste Hybridverbindungen.



Laserstrukturierung einer Glasprobe: Die Mikrostrukturen werden mit einem Abstand von ca. 1 mm in ein etwa 3 mm dickes Glassubstrat eingebracht. Dabei führt ein Scannersystem eine CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung mit hohen Geschwindigkeiten mehrfach über das Glassubstrat. Beim Auftreffen des Laserstrahls verdampft das Material und die abgetragenen Partikel sind als gelbe Stichflammen erkennbar © Fraunhofer ILT

Die Verbindung von Glas mit Kunststoffen ist von großer Bedeutung für funktionelle Bauteile, bei denen eine hohe Transparenz bei einer gleichzeitig hohen Formflexibilität gefordert ist. Typische Anwendungsbeispiele sind Beleuchtungsanwendungen im Innen- und Außenbereich wie z.B. Fahrzeugscheinwerfer (**Bild 1**) sowie Bedienelemente mit „Touch“-Funktion wie Displays.

Während Glas einer beschränkten Formvielfalt unterliegt, sind Kunststoffe temperatur- und kratzempfindlich und erlauben nur geringe Betriebstemperaturen sowie Temperaturzyklen. Die spezifischen Nachteile schränken die Verwendung der jeweiligen Werkstoffe ein. Durch Kombination der spezifischen Vor-

teile beider Werkstoffklassen lassen sich diese Beschränkungen aufheben.

Üblicherweise kommen bei der Kombination von Glas mit Kunststoffen Klebstoffe oder Haftvermittler zum Einsatz. Wesentliche Voraussetzung ist jedoch die Materialkompatibilität sowie ein Ausdehnungskoeffizient, der bei Temperaturerhöhungen keine hohen mechanischen Spannungen induziert. Bei Haftvermittlern ist zudem die Anzahl von Materialkombinationen eingeschränkt, da die meisten Glassorten nur eine geringe Benetzbarkeit aufweisen. Hierfür sind spezielle Bauteildesigns sowie eine aufwendige Prozesstechnik erforderlich. Des Weiteren sind Klebstoffe nur bedingt alterungsbeständig.

Im NRW-Forschungsprojekt Hytram mit drei Industriepartnern wurde ein hybrides Fertigungsverfahren entwickelt, das mittels präziser Laserstrahlung eine hybride Verbindung zwischen Glas und Kunststoff ermöglicht. Das Verfahren kommt ohne den Einsatz von Zusatzstoffen aus, sodass die o.g. Beschränkungen entfallen. Bei diesem zweistufigen Prozess werden zunächst mikro- und nanoskalige Strukturen im Glas eingebracht. Anschließend wird der Kunststoff mittels eines Thulium-Faserlasers erwärmt, sodass die Schmelze in die Kavitäten eindringt und zu einer Verbindung beider Materialien führt. Die Vorteile einer laserbasierten Bearbeitung sind die berührungslose und präzise Energieeinbringung, eine hohe Flexibilität der »



**Bild 1.** Glas-Kunststoff-Hybridverbindungen kombinieren die spezifischen Vorteile beider Werkstoffklassen. Ein typischer Anwendungsfall ist ein Kfz-Scheinwerfer, bei dem eine hohe Transparenz und Formflexibilität gefordert ist © Hella

Strukturgeometrien sowie die gute Automatisierbarkeit.

### Laserstrukturieren der Glasmaterialien

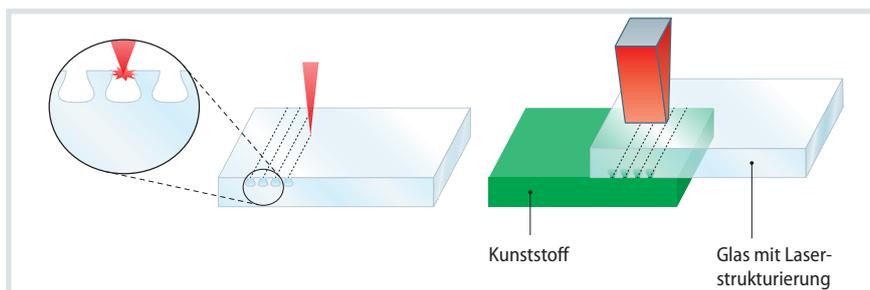
Durch die Strukturierung der Proben in einem definierten Bestrahlungswinkel werden Hinterschnitte im Glas erzeugt. Für diesen Arbeitsschritt können zwei unterschiedliche Laserstrahlquellen verwendet werden. Bei einem CO<sub>2</sub>-Laser wird mit Hilfe eines Scannersystems der Laserstrahl mit hoher Geschwindigkeit mehrfach über die Glasprobe geführt (**Titelbild**). Durch die galvanometrisch angetriebenen Scanner Spiegel können hier Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde erreicht werden. Mit jedem Laserpuls wird Material abgetragen. Die Strukturtiefe bzw. -dicke lässt sich über die Anzahl an Überfahrten bzw. die Scangeschwindigkeit flexibel einstellen.

Um die Verbundfestigkeit zu erhöhen, können mehrere Strukturlinien auf einer Glasprobe eingebracht werden. Vorteil dieses Verfahrens sind die kurzen Prozesszeiten von wenigen Sekunden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass es zu

einer Erwärmung der Glasprobe während des Strukturierprozesses kommt. Bei einer zu hohen Strukturdichte können thermisch induzierte Spannungen Risse im Bauteil verursachen.

Eine Nutzung von ultrakurzgepulsten (UKP) Laserstrahlquellen vermeidet diese Nachteile. Die starke Fokussierung der Laserstrahlung sowie ihre kurzen Pulsdauern von 15 ps ( $15 \cdot 10^{-12}$  s) können lokal hohe Intensitätsspitzen  $> 10^{13}$  W/cm<sup>2</sup> erzeugen, wodurch das Material instantan abgetragen wird. Aufgrund der kurzen Pulsdauern und der Sublimation des Materials findet nur eine nahezu unmerkliche Erwärmung des Bauteils statt, sodass umgangssprachlich von einem „kalten Abtrag“ gesprochen wird. So können Mikrorisse und Abplatzungen am Bohrungseintritt vermieden sowie eine homogene Rauheit der Bohrwand erzielt werden, sodass sich das Werkstück nahezu schädigungsfrei bearbeiten lässt.

Der Vorteil der UKP-Strukturierung ist ferner die hohe Präzision des Verfahrens. Mit jeder Überfahrt werden Schichtdicken von 1 µm abgetragen, sodass nahezu beliebige Strukturen im Glas erzeugt



**Bild 2.** Laserbasierte Herstellung eines Glas-Kunststoff-Verbunds in zwei Schritten: Links die Laserstrukturierung, rechts das Laserfügen © Quelle: ILT, Grafik: © Hanser

werden können. Der Prozess ist im Rahmen des Projekts so weiterentwickelt worden, dass er eine extrem hohe Reproduzierbarkeit aufweist, die für eine sichere Kunststoff-Glas-Verbindung notwendig ist. Durch die geringe Abtragsrate pro Laserpuls sind die Prozesszeiten im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Strukturierung deutlich größer und erreichen die Größenordnung von 20–30 Sekunden.

### Fügeprozess mit neuen Laserwellenlängen

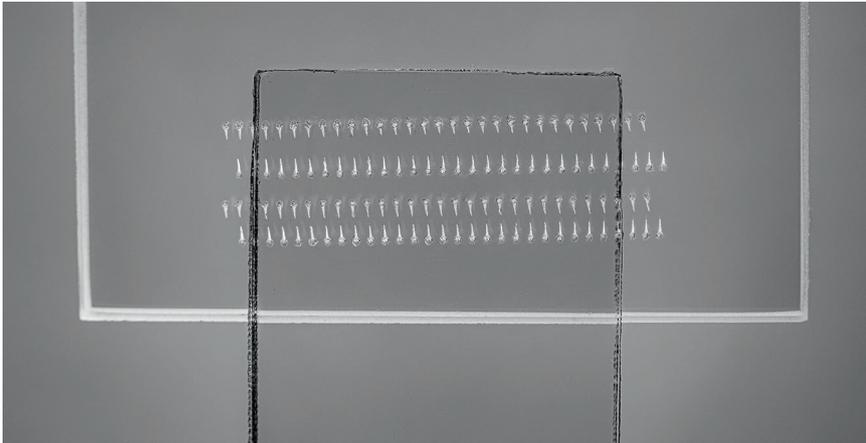
Für den anschließenden Fügeprozess kommt ein Thulium-Faserlaser zum Einsatz, der mit einer Emissionswellenlänge von 1940 nm Laserstrahlung im natürlichen Absorptionsbereich der meisten technischen Kunststoffe emittiert. Üblicherweise wird ein solcher Laser für das Durchstrahlschweißen transparenter Kunststoffe verwendet, da der Kunststoff ohne zusätzliche absorptionssteigernde Stoffe wie z. B. Ruß aufschmelzen kann.

Typische Anwendungsbeispiele sind Komponenten für die Medizintechnik oder Biotechnologie wie z. B. mikrofluidische Chips. In einer pneumatisch betriebenen Spannvorrichtung wird der Kunststoff unterhalb der strukturierten Glasprobe eingespannt und unter hohem Druck zusammengepresst. Die Laserstrahlung des FügeLasers durchdringt die Glasprobe und schmilzt den Kunststoff großflächig auf (**Bild 2**). Die Kunststoffschmelze fließt aufgrund des angelegten Fügedrucks in die Mikro- und Nanostrukturen und füllt diese aus.

Das Erstarren des Kunststoffs führt zu einer stabilen Verbindung (**Bild 3**). Durch die Strukturen entsteht allein über den geschmolzenen Kunststoff und dessen Oberflächenbenetzung eine hohe Adhäsionskraft, die über die Strukturen und dem daraus bedingten Formschluss den Kraftschluss erzeugt. Dieser Ansatz kommt ohne Zusatzwerkstoffe wie Haftvermittler oder Klebstoffe aus. Neben transparenten Kunststoffen können beliebige Farbkombinationen gefügt werden, sodass eine hohe Designfreiheit gegeben ist.

### Einflussfaktoren auf die Verbundfestigkeit

Die erzielte mechanische Festigkeit der Fügeverbindung ist neben den mechanischen Eigenschaften des Kunststoffs ent-



**Bild 3.** Glas-Kunststoff-Hybridverbindung nach dem Fügeprozess: Die strukturierte Glasprobe (oben) bildet einen festen Verbund mit der Flachprobe aus Polycarbonat (unten). Der Kunststoff wurde im Bereich der Mikrostrukturen (Mitte) auf einer Fläche von 10 mm × 20 mm bestrahlt. Aufgrund der hohen Transparenz beider Fügepartner ist der aufgeschmolzene Bereich mit bloßem Auge kaum zu erkennen © Fraunhofer ILT

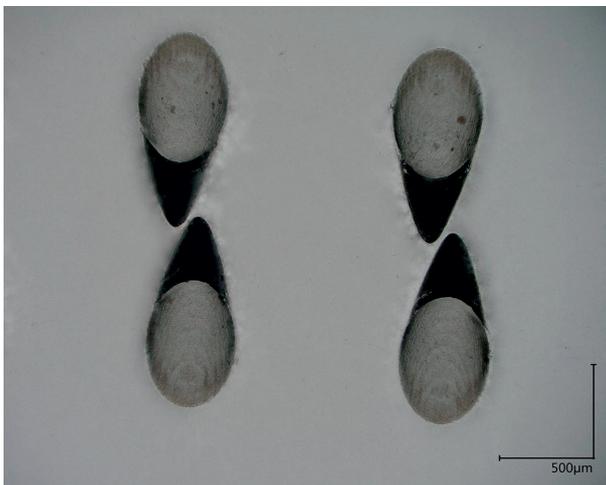
scheidend von der Strukturdichte und -orientierung abhängig. Mit höherer Strukturdichte entstehen mehr Verkrümmungspunkte, sodass die Verbundfestigkeit zunimmt, jedoch sinkt auch die Restmaterialdichte, wodurch die Struktur wiederum geschwächt wird.

Des Weiteren hängt die Festigkeit von der Ausrichtung der Strukturen ab. Durch eine Bearbeitung des Glasmaterials mit einem Anstellwinkel relativ zur Bestrahlungsrichtung, konnten Hinterschnitte im Glas erzeugt werden (**Bild 4**). Aufgrund der hohen Viskosität der Kunststoffschmelze erleichtert dabei eine Bohrungsgeometrie mit vergleichsweise großen Durchmesser von etwa 500 µm den Schmelzefluss. Eine gegenläufige Anordnung der Hinterschnitte führt unter Belastung der Kunststoff-Glas-Verbindung zu einem Widerstand gegen Scherung und Zug.

### Fazit

Die zweistufige, laserbasierte Glas-Kunststoff-Verbindung ermöglicht eine Vereinfachung der Prozesskette gegenüber anderen Fügeverfahren. Die direkte Verbindung reduziert das Gewicht und eröffnet neue Konstruktionsmöglichkeiten. Die Erzeugung der Mikrostrukturen im Glas erlaubt eine formschlüssige Verbindung zwischen beiden Materialien.

Die Ausrichtung der Mikrostrukturen kann dabei flexibel an die jeweiligen Belastungen im Bauteil angepasst werden, um optimale Festigkeiten zu erzielen. Während für eine schnelle Bearbeitung ein CO<sub>2</sub>-Laser zum Einsatz kommt, eignen sich ultrakurzgepulste Laserstrahlquellen durch ihren präzisen Abtrag, wenn hohe Verbundfestigkeiten gefordert sind.



**Bild 4.** Mikroskopische Aufnahme der Mikrostrukturen (Draufsicht): Das Glas wird schichtweise mittels UKP-Laserstrahlung abgetragen. Im Gegensatz zur Bearbeitung mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung können durch den hochpräzisen Abtrag Strukturen nahezu schädigungsfrei erzeugt werden © Fraunhofer ILT

In Zukunft soll durch die Herstellung eines Demonstratorbauteils die Eignung des neuen Verfahrens für ein industrielles Umfeld gezeigt werden. Um dieses Verfahren langfristig etablieren zu können, müssen weiterhin die Flächenraten beim Laserstrukturieren gesteigert werden. Zusätzlich soll auch das Überspritzen der Proben und des Demonstrators inklusive der Füllung der Mikrostrukturen simuliert werden. Die Simulation auf Mikroebene ist mit Cadmould bereits möglich und die Vorhersagegenauigkeit soll im Rahmen des Projekts weiter erhöht werden, um langfristig im industriellen Umfeld genutzt werden zu können. ■

## Die Autoren

**Nam-Phong Nguyen, M.Sc. M.Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Team Kunststoffbearbeitung am Fraunhofer ILT, Aachen; phong.nguyen@ilt.fraunhofer.de  
**Jan Schnabel, M.Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Team 3D-Volumenstrukturierung am Fraunhofer ILT, Aachen; jan.schnabel@ilt.fraunhofer.de

### Dank

Die Arbeiten wurden im Rahmen des NRW-Projekts HyTraM durchgeführt. Dieses Vorhaben wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter dem Förderkennzeichen EFRE-0801113 gefördert. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung sowie für die Unterstützung der Industriepartner bei der Durchführung der Arbeiten.

### Hytram-Projektpartner

- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt
- Krallmann Pilot-Werkzeug GmbH, Hiddenhausen
- Simcon kunststofftechnische Software GmbH, Würselen

## Service

### Digitalversion

- » Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-08](http://www.kunststoffe.de/2020-08)

### English Version

- » Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)