

Effiziente diffraktive Markierung von Glasoberflächen mittels ArF-Excimerlaser

Jörg Meinertz, Jürgen Ihlemann

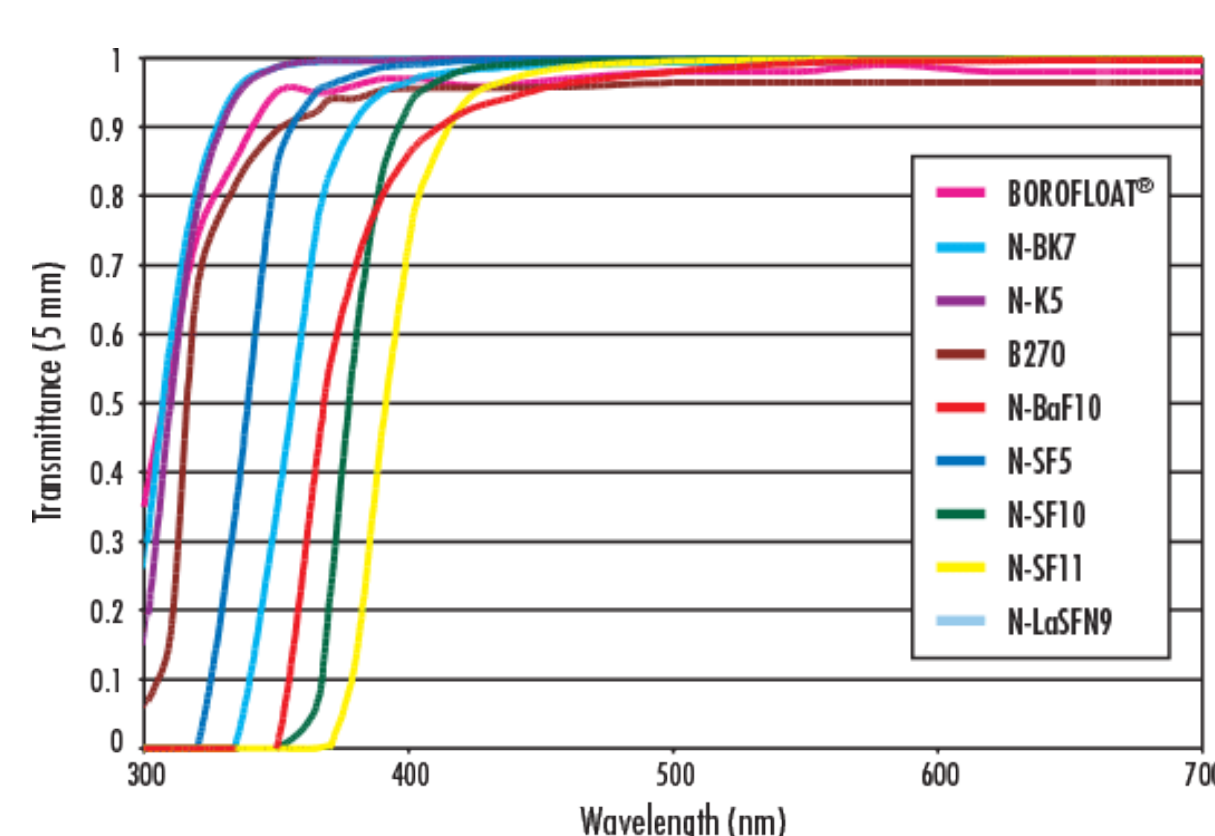
Laser-Laboratorium Göttingen e. V., Hans-Adolf-Krebs-Weg 1, 37077 Göttingen

Einführung

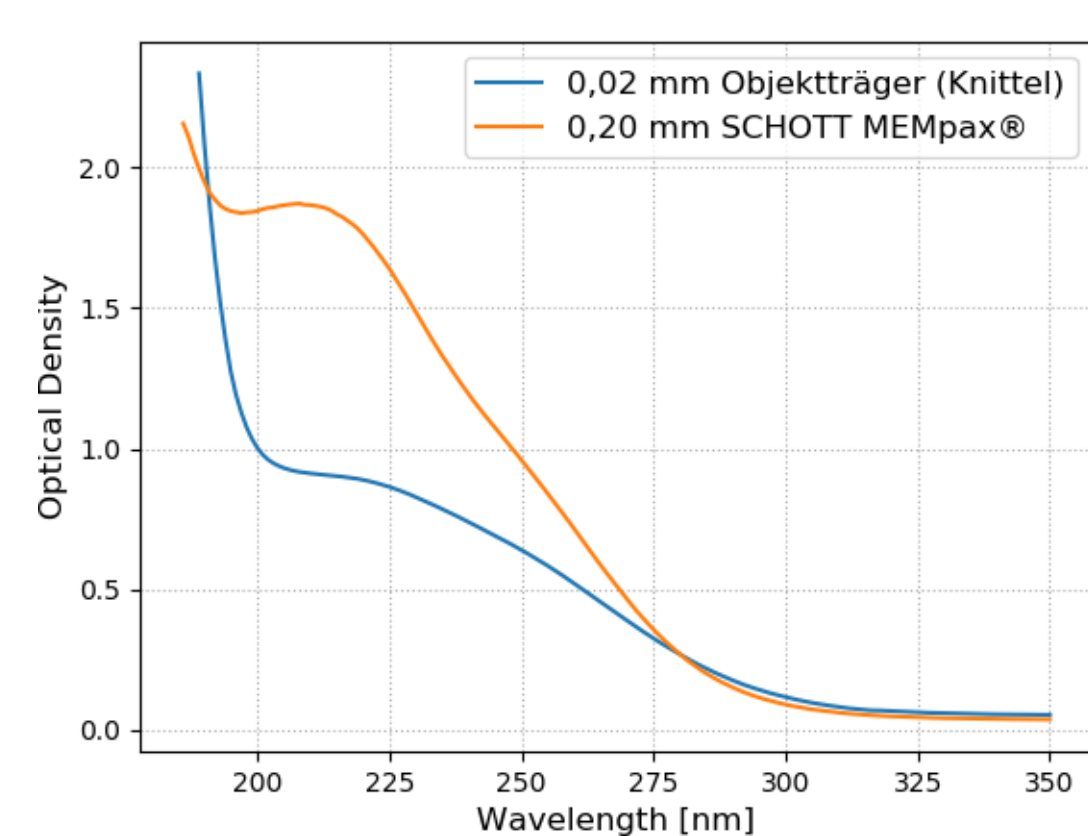
Die Markierung von Glaswerkstoffen mit einem ArF-Excimerlaser bietet gegenüber anderen laserbasierten Verfahren sehr spezifische Vorteile. Die kurze Wellenlänge von 193 nm garantiert eine hohe Strukturauflösung bei gleichzeitig starker linearer Absorption durch das Glas. Das ausgedehnte Strahlprofil in Verbindung mit der geringen Kohärenz ermöglicht den Einsatz effizienter Maskenprojektionstechniken. Die in die Glasoberfläche ablatierten periodischen Mikrostrukturen sorgen trotz ihrer geringen, materialschonenden Strukturtiefe durch Lichtbeugung für eine kontrastreiche und optisch ansprechende Markierung. Es wird gezeigt, wie durch Phasenmaskenprojektion eine effiziente, großflächige Markierung realisiert werden kann. Trotz geringster Anforderungen an die Abbildungsoptik sind Oberflächengitter mit Perioden unter 2 μm strukturierbar. Ein neues Verfahren kombiniert eine zylindrische Abbildungsoptik mit einem Werkstoffvorschub, der auf die Repetitionsrate des Lasers abgestimmt ist, um eine Steigerung der Prozessgeschwindigkeit zu erreichen.

1 Laserbearbeitung von Glas bei 193 nm

Fast alle technischen Gläser weisen eine **starke Absorption** bei der Laserwellenlänge 193 nm auf (ArF-Excimerlaser, tiefes UV). Damit verbunden ist eine **geringe Eindringtiefe**, die für eine effiziente Einkopplung von Laserpulsenergie in eine oberflächennahe Schicht sorgt. Die kurze Wellenlänge ermöglicht eine **hochauflösende Strukturierung der Oberfläche**. Das darunter liegende **Volumenmaterial wird geschont**. Für einen Materialabtrag sind je nach Glassorte Fluenzen von einigen 100 mJ/cm^2 bis einigen 1000 mJ/cm^2 erforderlich.



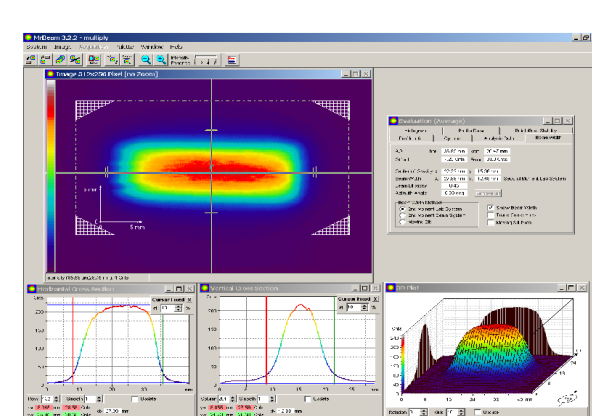
▲ Transmission technischer Gläser.
Quelle: Edmund Optics.



▲ Optische Dichte im UV
(Messungen: Univ. Halle-Wittenberg)

2 ArF-Excimerlaser

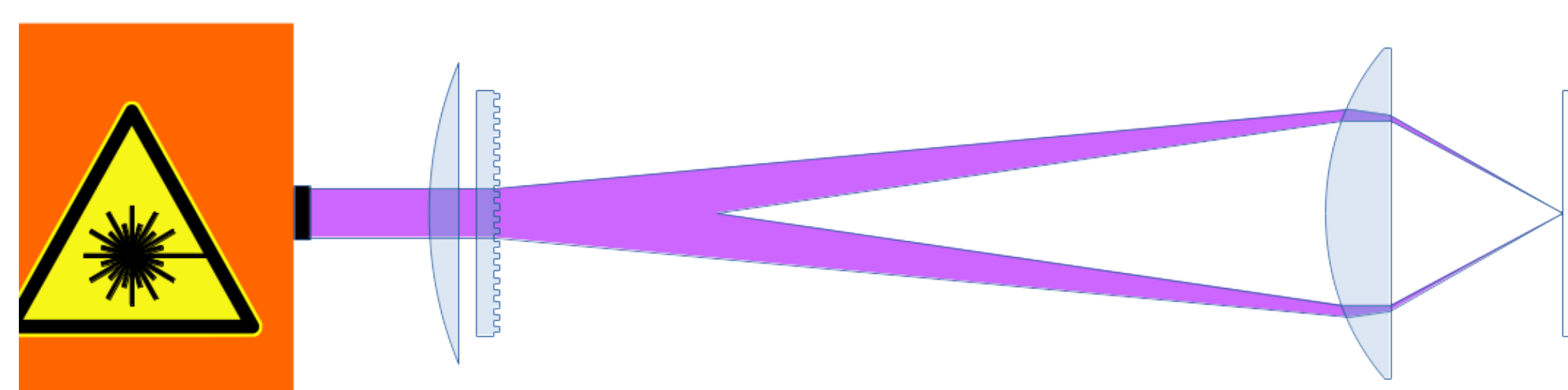
ArF-Excimerlaser sind **zuverlässige, technisch ausgereifte Strahlquellen** mit hervorragenden Eigenschaften für die Materialbearbeitung. Das rechteckige Strahlprofil ermöglicht die **flächige Ausleuchtung von Masken**. Durch die **geringe räumliche Kohärenz** treten dabei **kaum Probleme durch Speckle** auf.



Wellenlänge: 193 nm
Pulsdauer: ~ 20 ns,
Pulsenergie: bis einige 100 mJ
Repetitionsrate: bis einige 100 Hz

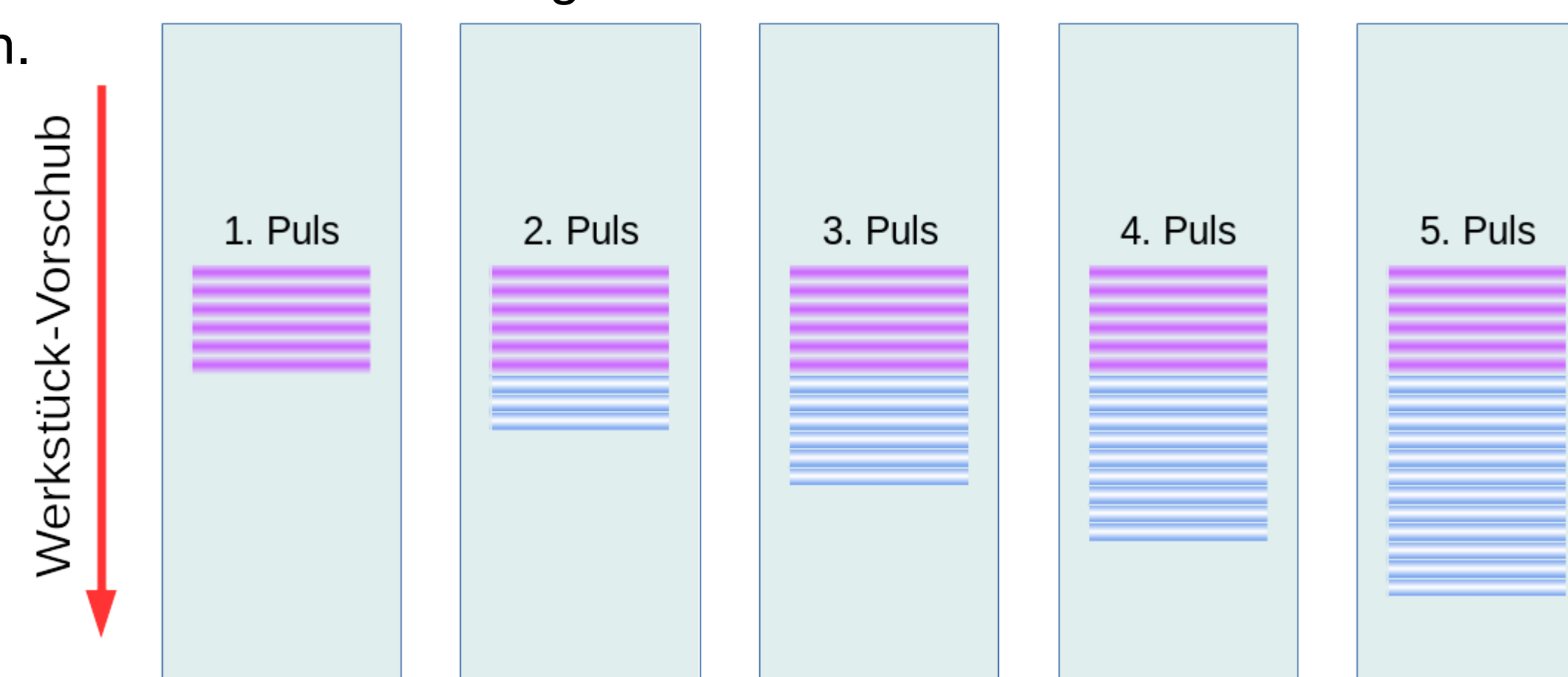
4 Maskenprojektion von Transmissionsgittern

Mit einer Optik wird das Phasengitter verkleinert auf das Glaswerkstück abgebildet, wodurch die erforderliche Fluenz für einen Materialabtrag erreicht wird. Zur Abbildung tragen dabei nur +1. und -1. Beugungsordnung bei. Durch **Zweistrahlint interferenz** entsteht ein **periodisches Intensitätsprofil**, das sich durch Materialabtrag in die Glasoberfläche überträgt. Die Abbildungsoptik kann sphärisch oder zylindrisch sein. Mit einer Feldlinse vor dem Phasengitter können Abbildungsfehler so weit reduziert werden, dass bereits mit einfachen Linsen-Singulets **Strukturperioden kleiner 2 μm** auf dem Glas erreicht werden.



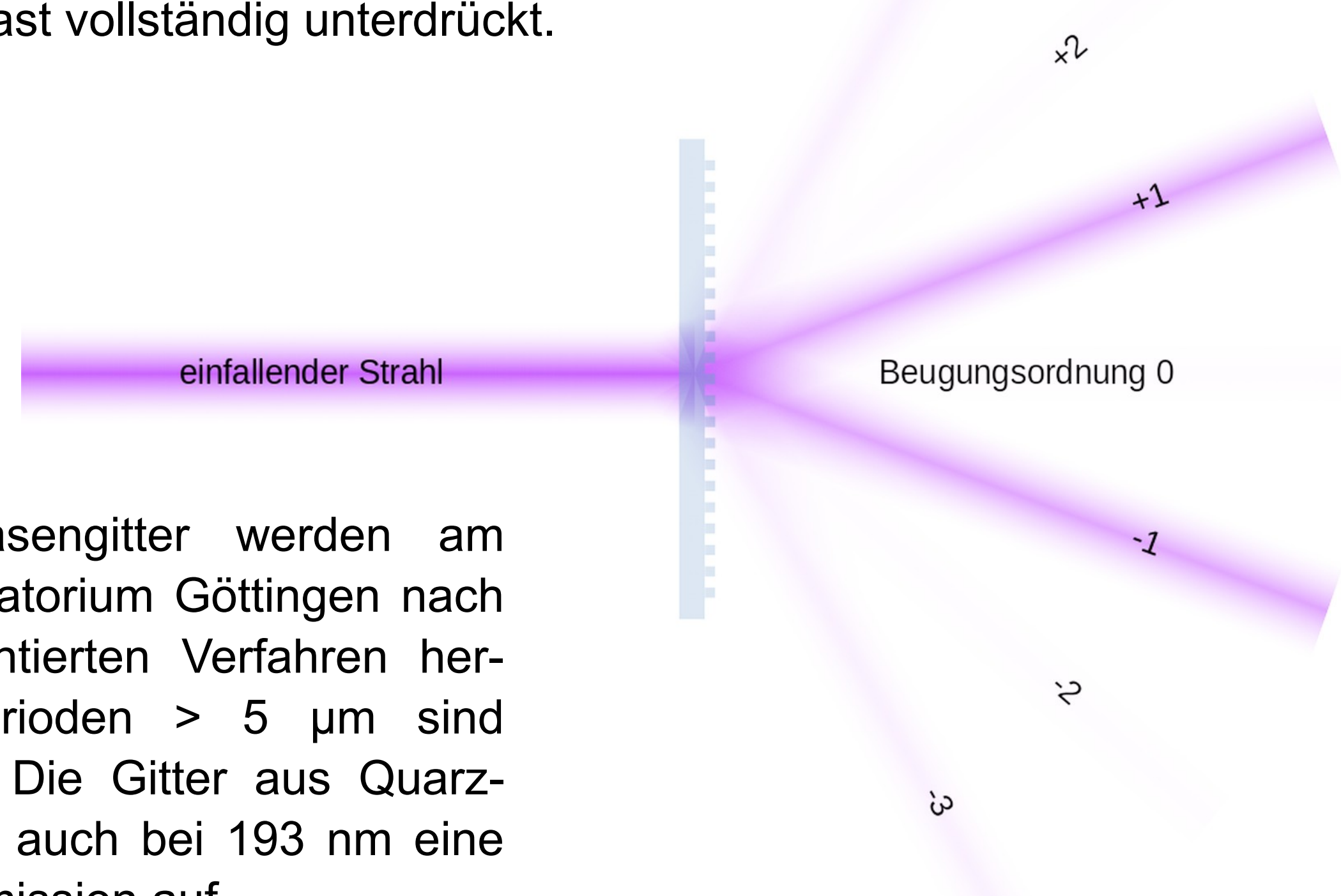
5 FLAG (Fast Large-Area Grating) Methode

Bei dieser Methode bewegt sich das Glaswerkstück kontinuierlich. Werkstückvorschub und Laserpulse werden synchronisiert: zwischen zwei Laserpulsen bewegt sich das Werkstück um ein ganzzahliges Vielfaches der Periode weiter. In Kombination mit einer zylindrischen Abbildung (lange Linien) können so schnell große Flächen mit einer Gitterstruktur belegt werden.



3 Binäre Transmissions-Phasengitter

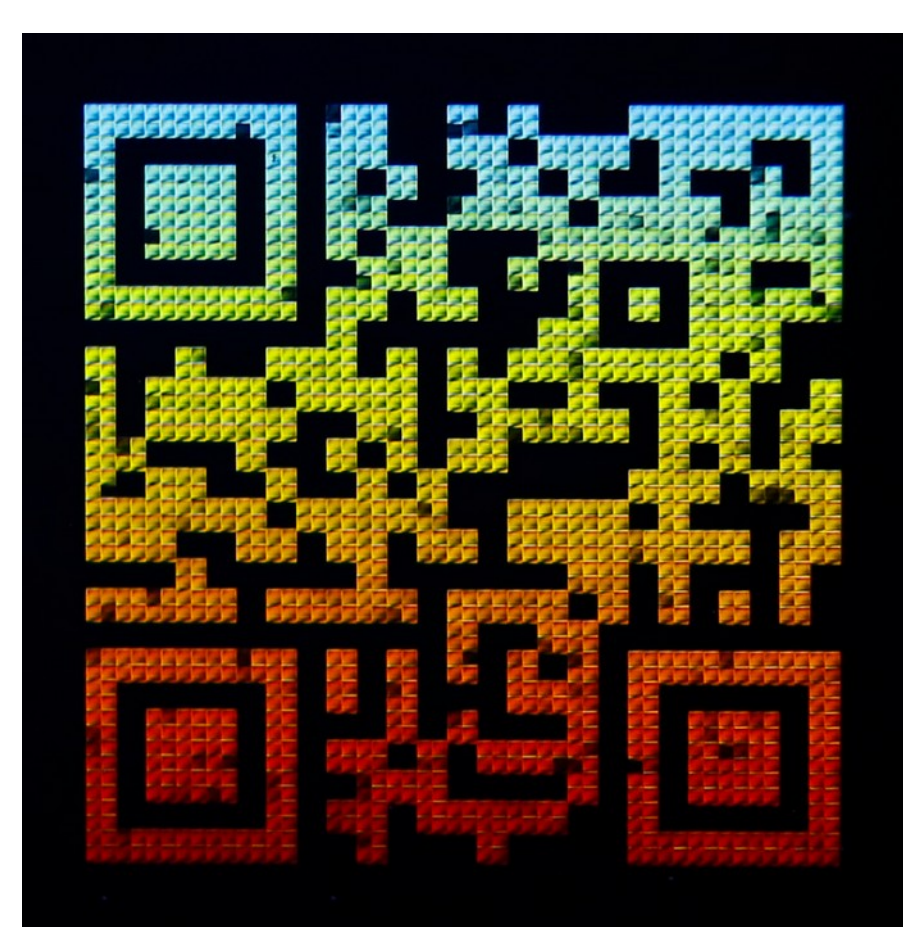
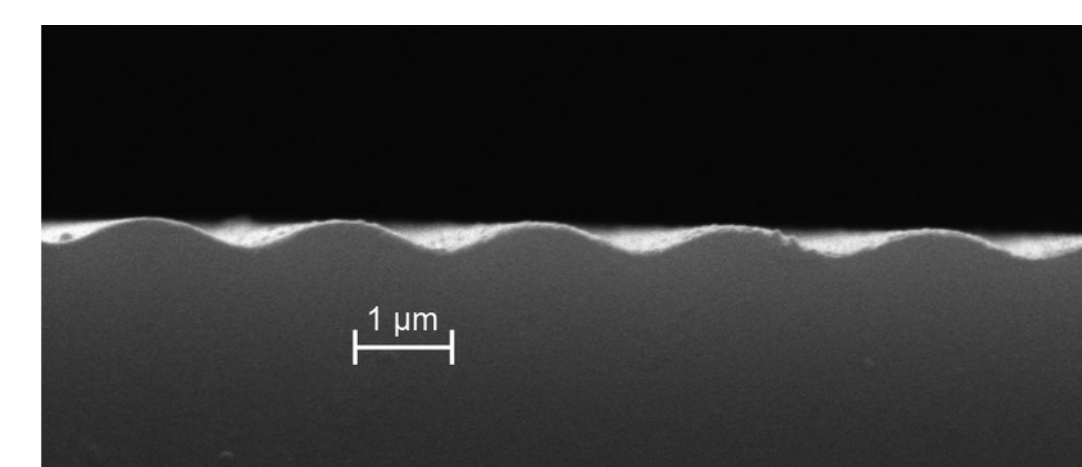
Transmissions-Phasengitter bewirken eine **periodische Modulation der Phasenfront** eines transmittierten Strahls. Bei binären Phasengittern geschieht diese Modulation durch ein **zweistufiges, periodisches Oberflächenprofil**. Anders als bei Amplitudenmasken treten **keine Absorptionsverluste** auf. Optimierte Phasengitter beugen an die 80 % der einfallenden Energie in die +1. und -1. Beugungsordnung. Dagegen wird die 0. Ordnung fast vollständig unterdrückt.



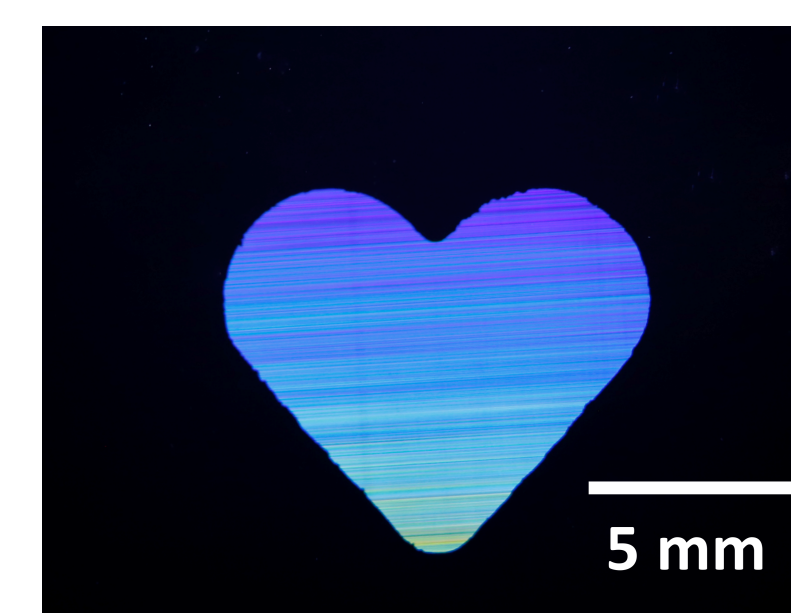
Binäre Phasengitter werden am Laser-Laboratorium Göttingen nach einem patentierten Verfahren hergestellt. Perioden > 5 μm sind realisierbar. Die Gitter aus Quarzglas weisen auch bei 193 nm eine hohe Transmission auf.

6 Ergebnisse

REM-Aufnahme eines Oberflächen-gitters in Kalknatronglas.



▲ Nahaufnahme eines QR-Codes



▲ Diffraktives Logo in Herzform. FLAG-Methode mit zylindrischer Abbildung und Konturmaske.



Diffraktive Markierung kommerzieller Glasgebilde mit DMC- (links) bzw. QR-Code (rechts)

Referenzen

- [1] J.-H. Klein-Wiele, J. Békési, P. Simon, J. Ihlemann, *Fabrication of SiO₂ phase gratings by UV laser patterning of silicon suboxide layers and subsequent oxidation*, J. Laser Micro-/Nanoeng. 1 (3), 211 (2006)
- [2] J. Meinertz, T. Fricke-Begemann, J. Ihlemann, *Micron and Sub-Micron Gratings on Glass by UV Laser Ablation*, Physics Procedia 41, 708 (2013)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages