

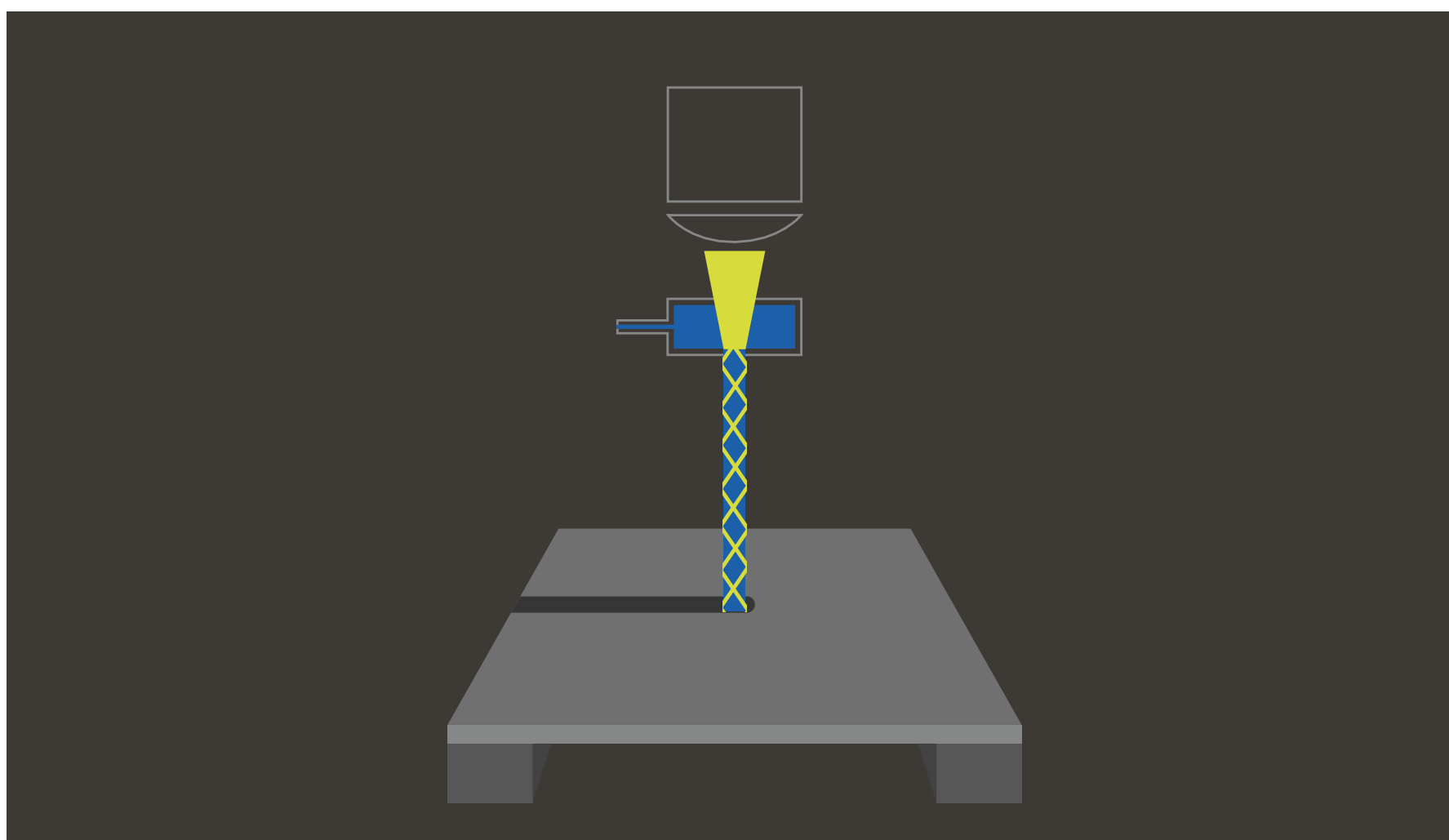
SAPHIR VP4 – Waterjet Guided Laser (WJGL)

Autoren: Patrick Hähle, Sebastian Matte, Stephan Korn, Christian Rochholz | LCP Laser-Cut-Processing GmbH

Projektziel

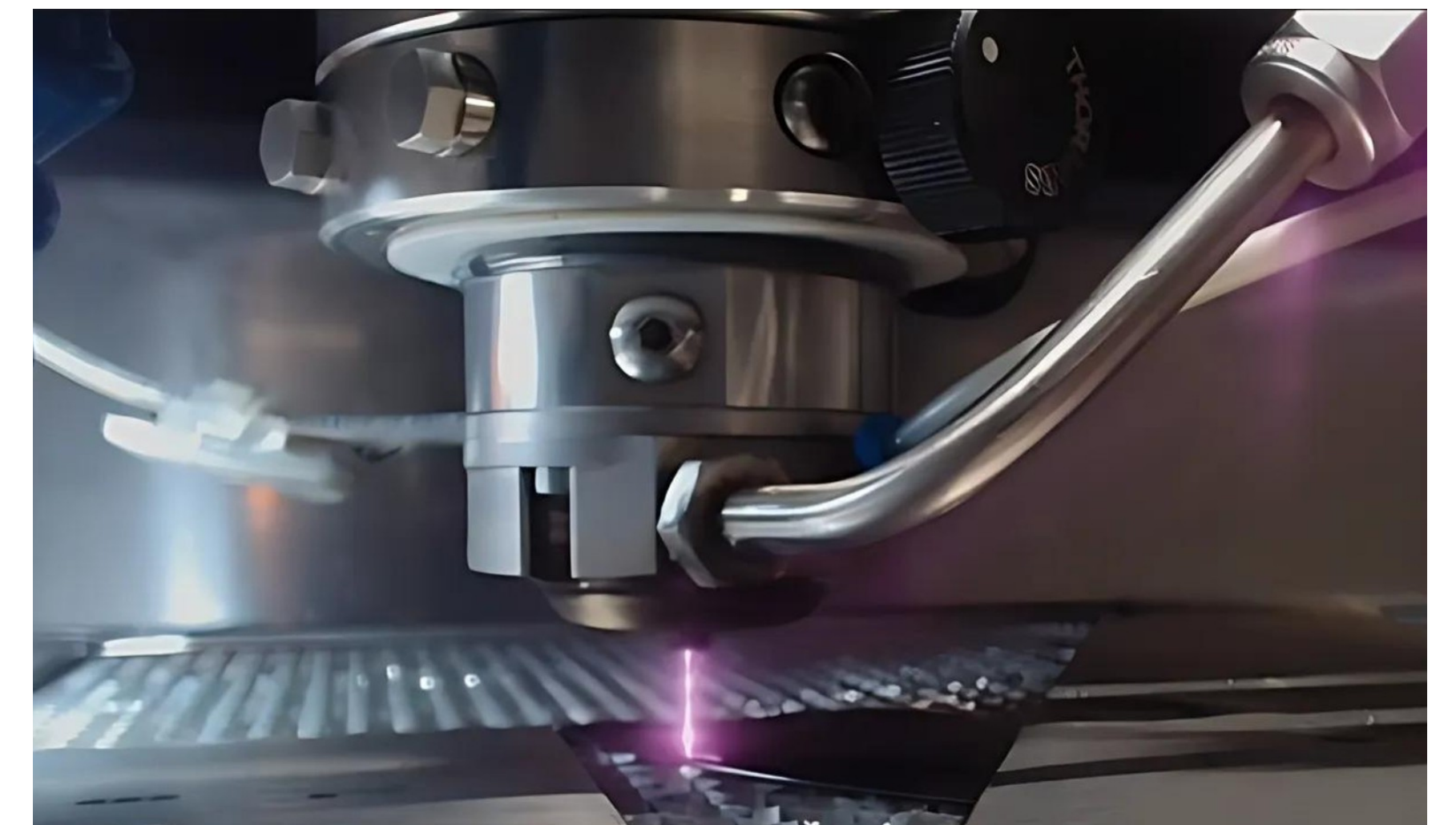
Laserfeinstbearbeitung von Werkstoffen mit einer Materialstärke von 2 mm

Charakterisierung, Inbetriebnahme und Parameteroptimierung einer Testanlage mit der Technologie der wasserstrahlgeführten Lasermaterialbearbeitung (WJGL)

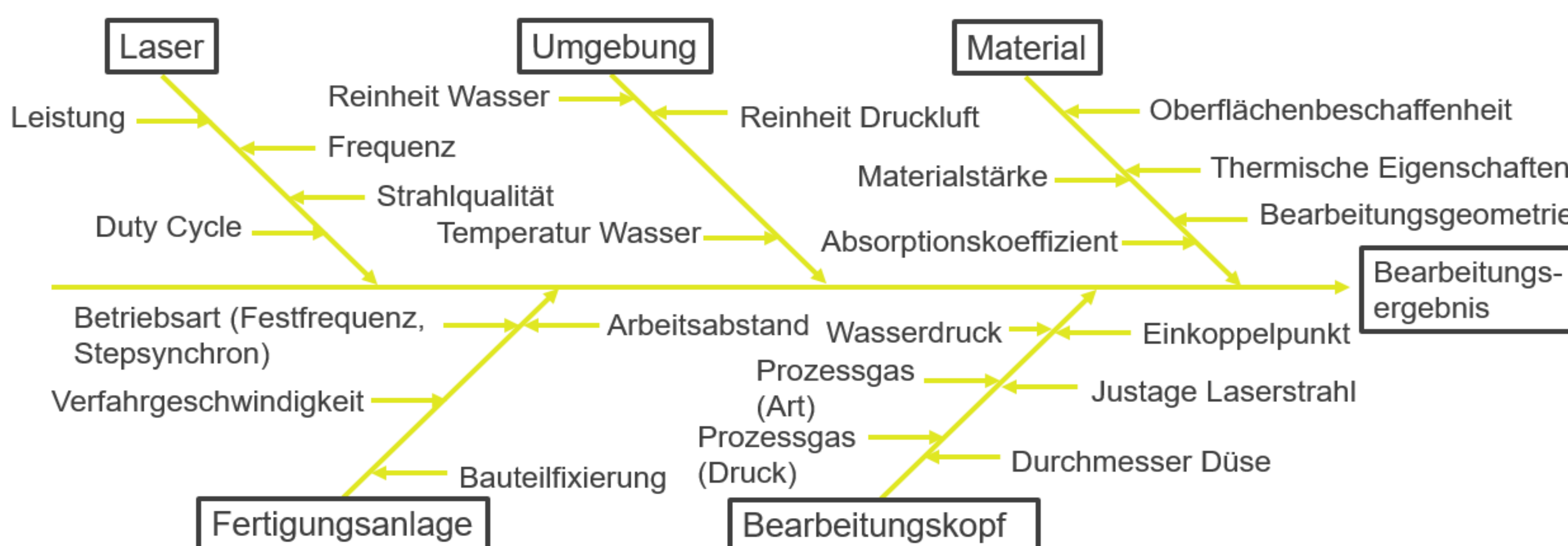


Zielvorgaben

- Inbetriebnahme Teststand
- Bohren von Löchern in eine Materialstärke von 2 mm bei einem Schnittflankenwinkel von $< 1^\circ$
- Bohren von Löchern mit einem Durchmesser von $< 0,2$ mm in eine Materialstärke von 2 mm
- Fertigen von senkrechten Schnitten ohne thermischen Einfluss bei einer Materialstärke von 2 mm
- Fertigen von Schnittkanten ohne thermischen Einfluss in 1 mm Materialstärke und Formtoleranzen von $< 50 \mu\text{m}$
- Schnittkanten und Toleranzen in Bezug auf Rauheit, Ebenheit sowie Form- und Lagegenauigkeit dokumentieren



Inbetriebnahme



Während der Inbetriebnahme des Teststandes wurden die Einflussfaktoren und ihre Abhängigkeit für die WJGL-Technologie ermittelt, die für die anschließenden Parameterstudien sinnvoll sind. Dabei hat sich gezeigt, dass beispielsweise die Reinheit des Prozesswassers einen sehr hohen Stellenwert annimmt. Durch Partikel und sonstige Verunreinigungen wird die Laserstrahlung gestreut und die Düse abgenutzt. Zusätzlich können sich organische Ablagerungen bilden (Bild unten), welche den Prozess stören. Durch aufwendige Filtertechnik (Partikelfilter bis $0,5 \mu\text{m}$, DI-Patronen & Aktivkohlefilter) wird der Leitwert des Prozesswassers auf $< 0,1 \mu\text{S/cm}$ eingestellt.

Bearbeitungsergebnisse

Schnittflankenwinkel

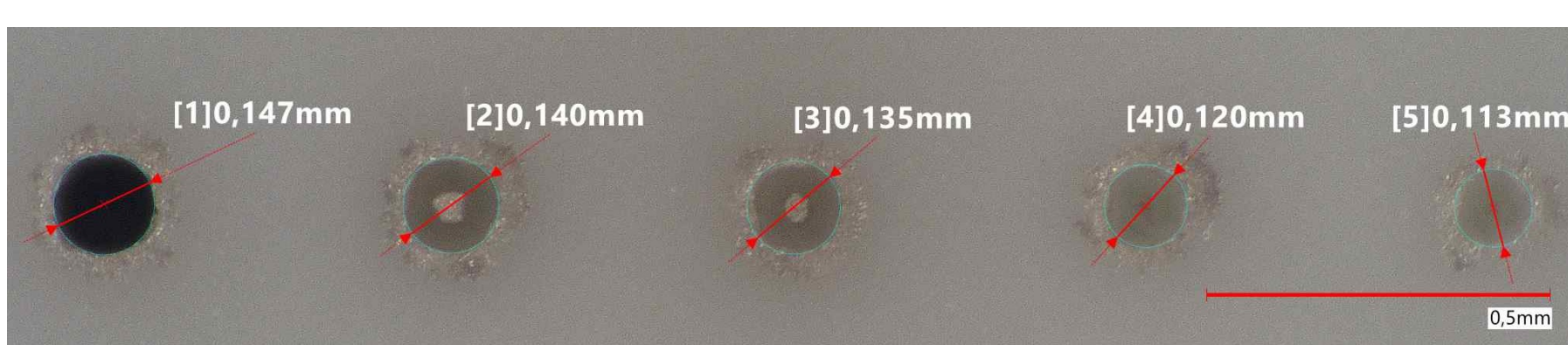
Die Parameterstudien haben gezeigt, dass die Einflussfaktoren Pulsspitzenleistung PPEAK, Pulsdauer Pd, Frequenz f und die Vorschubgeschwindigkeit v beim Bohren von Löchern den größten Einfluss auf das Prozessergebnis haben. Als Ergebnisgrößen dienen die benötigte Anzahl an Überfahrten und der Schnittflankenwinkel.

Material	Materialstärke [mm]	Flankenwinkel bezogen auf 90° [°]
1.4301	5	0,23
Al ₂ O ₃	0,38	7,7
AlN	1,5	0,5
Aluminium	5	0,05
Diamant SiC	2	-0,06
Ferrit	17,45	0,18
Graphit	3	0,73
MnZnFe ₂ O	10	0,29
SiC	3	0,32
SiN	18,6	0,2
Tantal	1	2,13
Wolfram	0,42	2,73
ZrO (5YSZ)	2	0,16

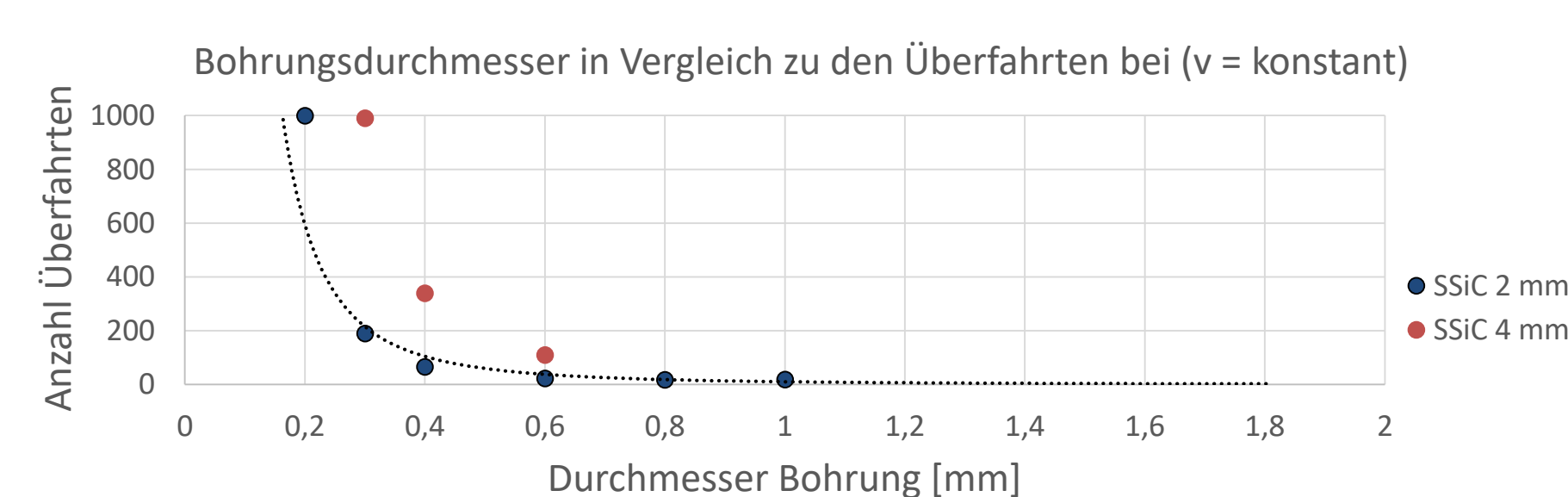
Die Tabelle zeigt eine Auswahl der bearbeiteten Werkstoffe mit einer Farbeinteilung, bei denen die Zielvorgaben in Bezug auf Materialstärke und Schnittflankenwinkel erreicht wurden (grün) und nicht eingehalten wurden (rot).

Bohrungsdurchmesser

Bei den Bohrungen hat sich eine Abhängigkeit des verwendeten Düsendurchmessers zu dem Bohrungsdurchmesser und der Materialstärke herausgestellt. Sind die Bohrungen zu klein zerstört Spritzwasser vom Prozess den laminaren Wasserstrahl und es kommt zum Prozessabbruch. Ab einem gewissen Bohrungsdurchmesser bildet sich ein Bohrkern, der den Wasserstrahl vor Spritzwasser schützt und Bohrungen gefertigt werden können (siehe Bild; Bohrungen in $0,4 \text{ mm ZrO}_2$).



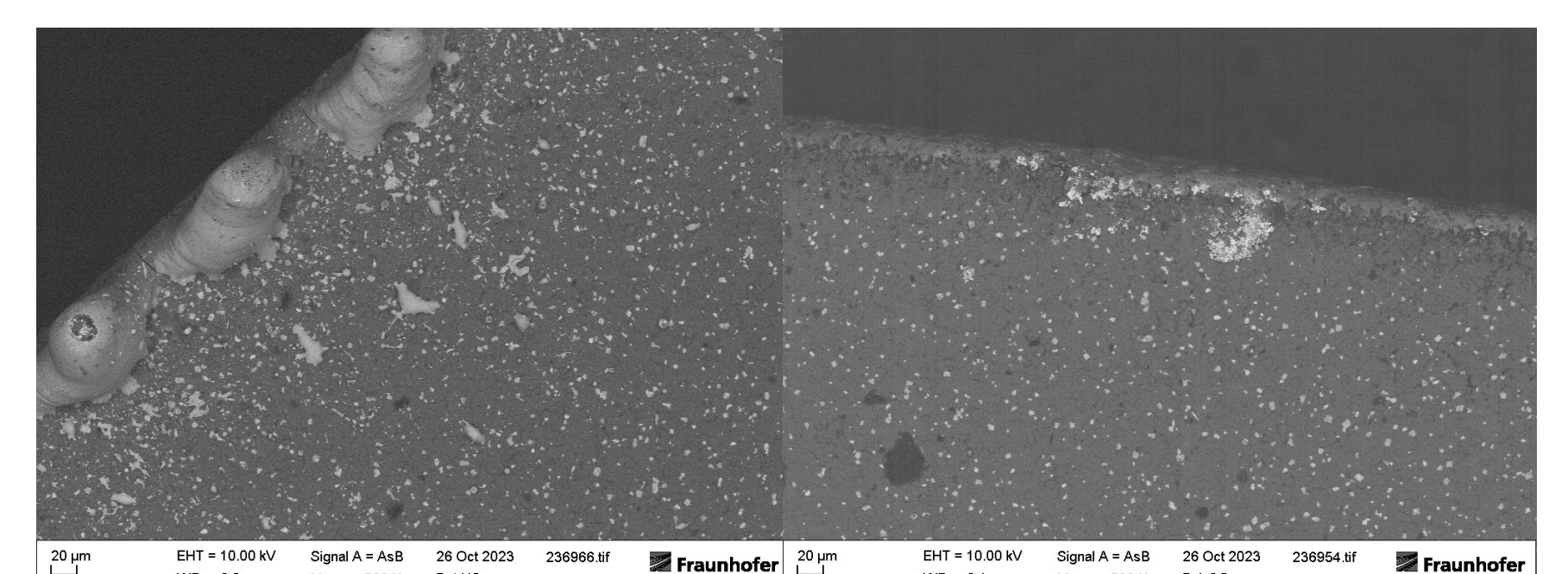
Dieses Ausbilden des Bohrkerns ist neben dem Düsendurchmesser auch stark von der Materialstärke abhängig. Für eine Materialstärke von 2 mm konnte als Faustformel ermittelt werden, dass der Bohrungsdurchmesser dem 4-fachen des Düsendurchmessers entsprechen sollte.



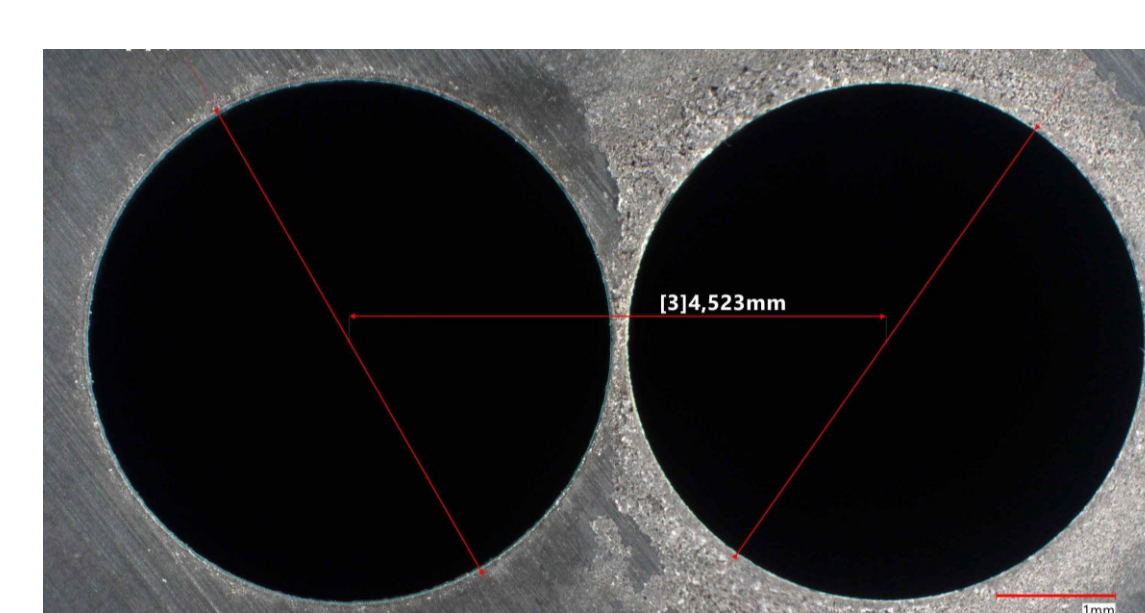
In der Projektlaufzeit war es möglich Bohrungen mit einem Durchmesser von kleiner als $200 \mu\text{m}$ herzustellen. Dies war jedoch bei einer Materialstärke von 2 mm nicht möglich.

Thermischer Einfluss durch das WJGL-Verfahren

Das Testsystem verwendet eine Laserquelle mit einer minimalen Pulsdauer von $5 \mu\text{s}$. Aufgrund der „langen“ Wechselwirkung von Laserstrahlung und Material können thermische Effekte nicht komplett ausgeschlossen werden. Der Vergleich von REM Aufnahmen an geschnittenen AlN Ronden mittels konventioneller Lasermaterialbearbeitung (links) und WJGL (rechts) zeigt jedoch, dass diese stark minimiert werden können.



Formtoleranzen



Das Bild zeigt zwei Bohrungen in 18,6 mm starkes SiN. Eine Messung der Rundheit ergab für die Bohrung eine Abweichung von $30 \mu\text{m}$ (links) und $33 \mu\text{m}$ (rechts) und ist somit kleiner als die geforderten $50 \mu\text{m}$ im Projektziel. Das Ergebnis konnte mehrfach an verschiedenen Werkstoffen und Materialstärken bestätigt werden.

Zusammenfassung und weitere Optimierungsmöglichkeiten

Die Ergebnisse zeigen zusätzlich, dass es einen Geometrieinfluss in Bezug auf Düsendurchmesser und Materialstärke gibt. In weiterführenden Versuchen hat sich gezeigt, dass zusätzlich die Geometrieart (Bohrungen, rechteckige Ausschnitte, sonstige) einen sehr großen Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis haben. Hier wären weiterführende Versuche sinnvoll.