

8. Tagung

Industriearbeitskreis Trockeneisstrahlen



## Laserunterstütztes Trockeneisstrahlen als hybrides Reinigungskonzept zum Entfernen stark haftender Schichten und Verunreinigungen

Produktionstechnisches Zentrum  
Berlin

12. Mai 2006

Robert Hollan



  
**Fraunhofer**  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik

  
Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

Seite 2

### Gliederung

- Reinigungsstrategie
- Eingesetzte Laser- und Trockeneisanlagentechnik
- Analyse- und Auswerteverfahren
- Parameteroptimierung Einzelverfahren
- Ergebnisse Hybridverfahren
- Zusammenfassung und Ausblick

  
**Fraunhofer**  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik

  
Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Reinigungsstrategie

### ▪ Vor- und Feinreinigung:

- Abtragen eines Großteils der Verunreinigung/zu entfernenden Schicht durch Trockeneisstrahlen
- Feinreinigung durch Laserstrahlen
- Anwendung beider Verfahren im gleichen bzw. versetzten Fokus

### ▪ Steigerung des thermischen Effekts:

- Steigerung des thermischen Effektes durch Energiezufuhr mittels Laser
- Anwendung beider Verfahren im gleichen bzw. versetzten Fokus

### ▪ Kombination beider Strategien

- Laserunterstütztes Trockeneisstrahlen zur Steigerung des thermischen Effekts verbunden mit Laserfeinreinigung und -vorbehandlung

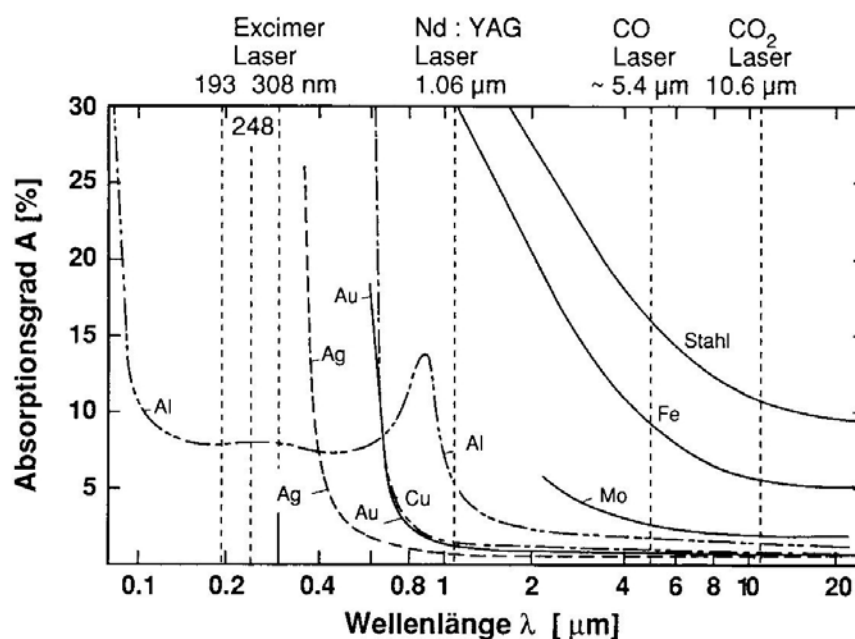


Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Grundlagen Lasertechnik



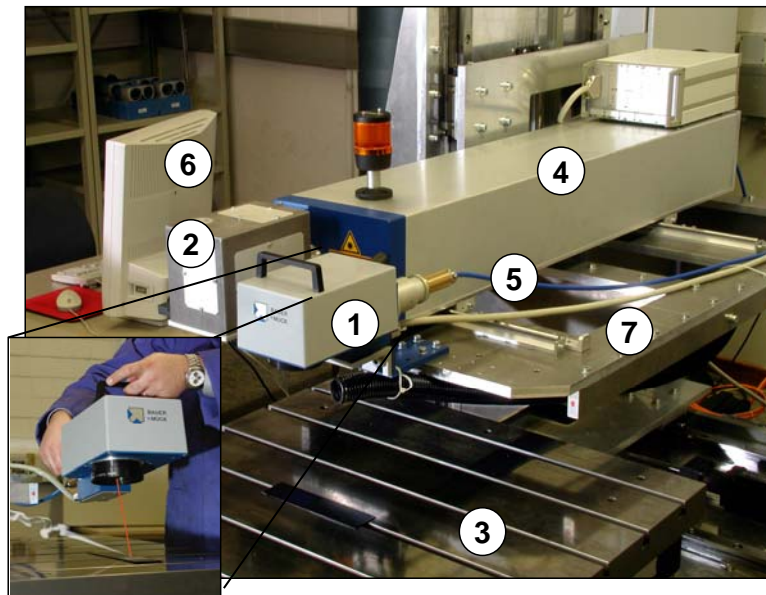
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Eingesetzte Lasertechnik I: Nd:YAG-Festkörperlaser SV10

- Wellenlänge: 1064 nm
- Strahlqualität:
  - Grundmode 1,1
  - Multimode 7,0
- cw-Leistung:
  - Grundmode 18 W
  - Multimode 100 W
- Pulsdauer: 90 ns
- Pulsfrequenz: 0 – 250 kHz
- Fokusdurchmesser:
  - < 20  $\mu\text{m}$  – 200  $\mu\text{m}$



Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Eingesetzte Lasertechnik II: Dilas Diodenlaser 1500 W

- Wellenlänge: 940 +/- 5 nm
- Laserleistung:
  - bis zu 1500 W
  - Pulsdauer: 90 ns
- Fokusdurchmesser:
  - 3,8 mm x 8 mm

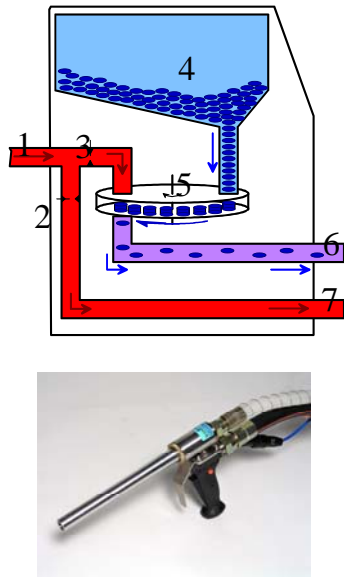


Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Eingesetzte Trockeneisanlagentechnik I: Druck- und Injektorstrahlanlage Cab52, Strahlpistole G 5000



- Strahldruck:  
bis zu 16 bar
- Strahlprinzip:  
variabel durch unabhängige Einstellung von Förder – und Strahldruck (2 & 3)
- Massenstrom:  
20 - 105 kg/Std.

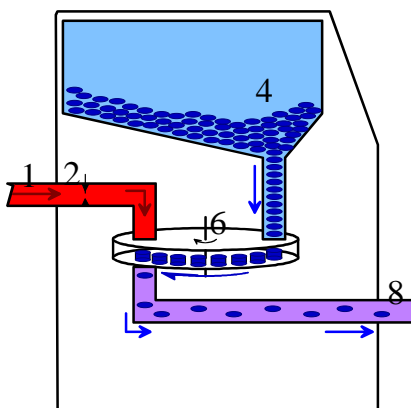


Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Eingesetzte Trockeneisanlagentechnik II: Druckstrahlanlage ICEBLAST KG 30



- Strahldruck:  
bis zu 16 bar
- Strahlprinzip:  
Druckstrahlanlage
- Massenstrom:  
30 – 100 kg/Std.
- Strahldüse:  
diverse



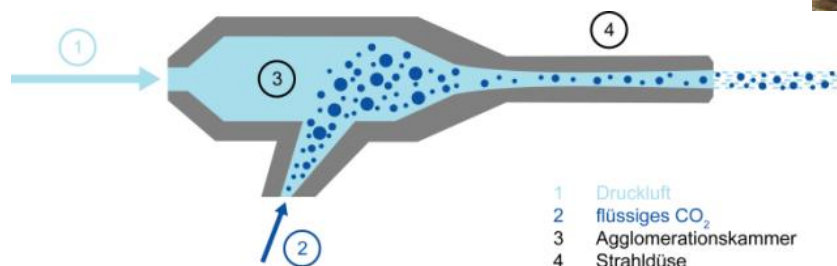
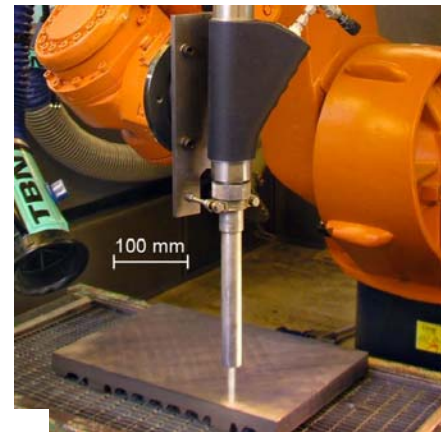
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Eingesetzte Trockeneisanlagentechnik III: Schneestrahlen Fa. Kipp

- Strahl Druck:  
4,5 - 12 bar
- CO<sub>2</sub>-Druck (Hochdrucksteigrohrflasche):  
ca. 57 bar
- CO<sub>2</sub>-Massenstrom:  
ca. 20 – 45 kg/Std.



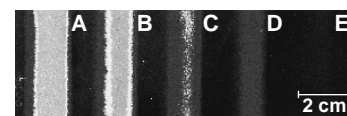
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Vergleichsmaßstab

- Beschichtete Standardprobe:  
Feuerverzinktes Stahlblech (1,5 mm),  
PUR-2-Komponentenlack,  
Schichtdicke 100 µm und 200 µm,  
Deckfarbe schwarz und weiß
- Rostprobe:  
Feuerverzinktes Stahlblech (1,5 mm),  
identische Umgebungsbedingungen  
und Dauer
- Test an thermisch gespritzten Hitzeschutz-  
schichten von Hitzeschildern von Gasturbi-  
nen



Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Analyse- und Auswertungsverfahren I: Tastschnittmessgerät Talysurf-120L zur Aufnahme der Oberflächenprofile

- Messtasterspitzendurchmesser:  
2  $\mu\text{m}$
- Messspitzenwinkel: 60°
- Formfehler: < 0,15  $\mu\text{m}$
- Messbereich: +/- 2 mm
- Mess- und Auswertelänge:
 

orthogonal	20 mm
parallel	5 mm



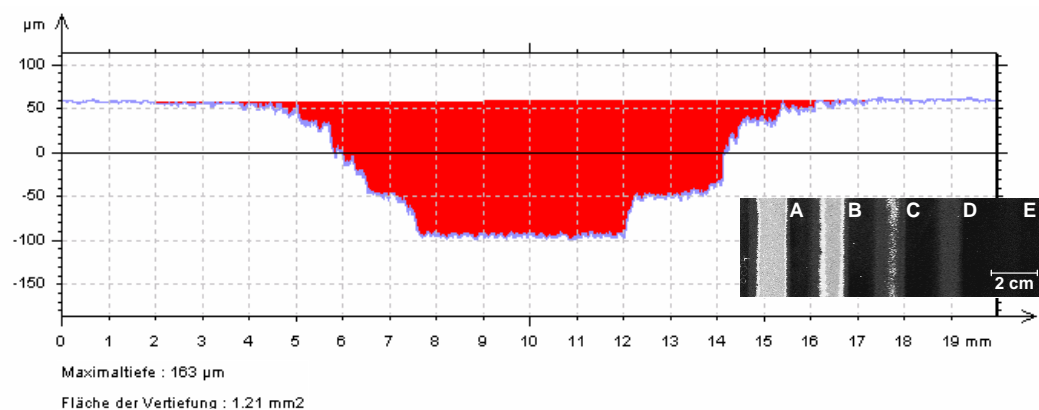
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Analyse- und Auswertungsverfahren II:

- Software zur Auswertung der Oberflächenprofile:  
Talymap Universal V. 2.0.10, Taylor Hobson Ultra
- Gravimetrische Auswertung



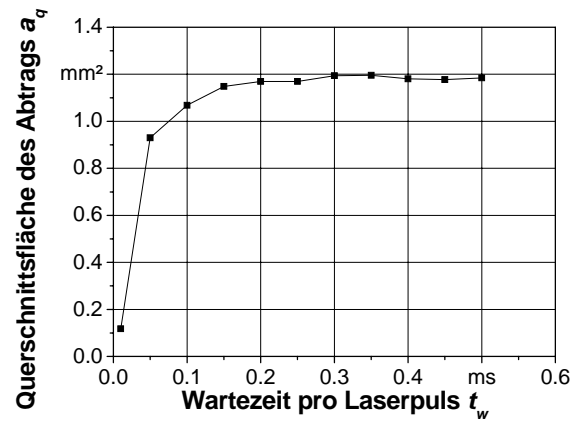
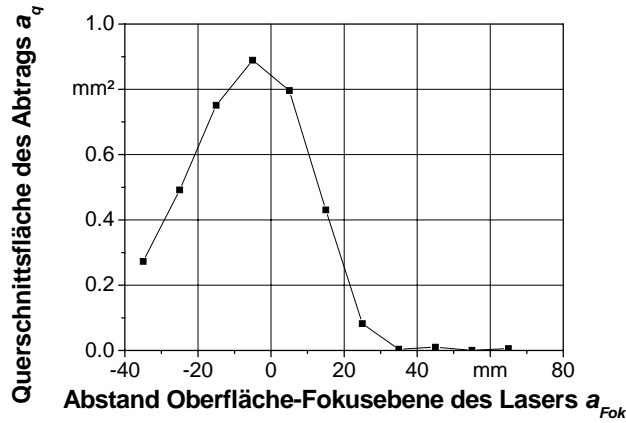
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Parameteroptimierung Laserstrahlen I

- Abstand Oberfläche – Fokusebene des Lasers
- Wartezeit pro Laserpuls



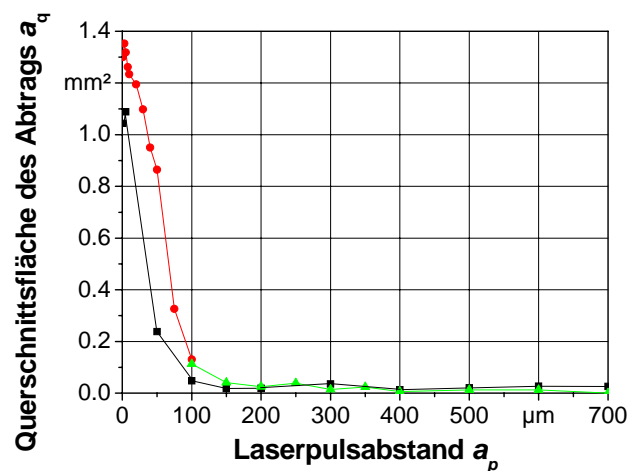
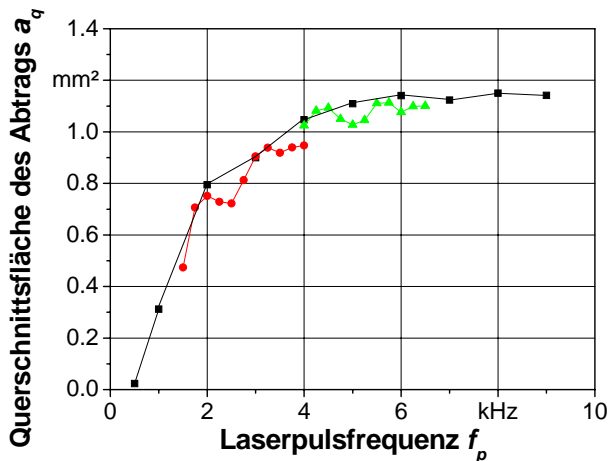
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Parameteroptimierung Laserstrahlen II

- Laserpulsfrequenz
- Laserpulsabstand



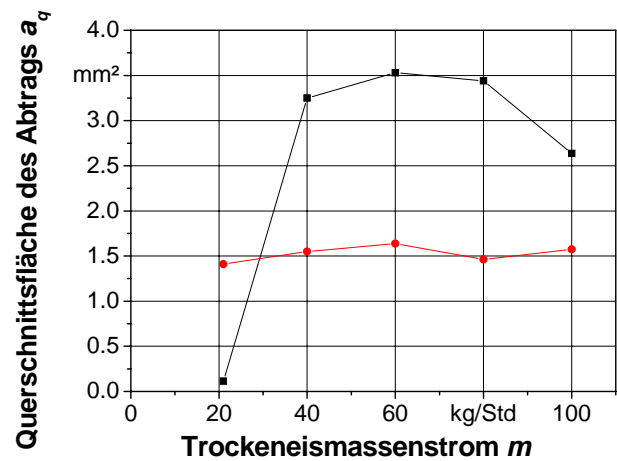
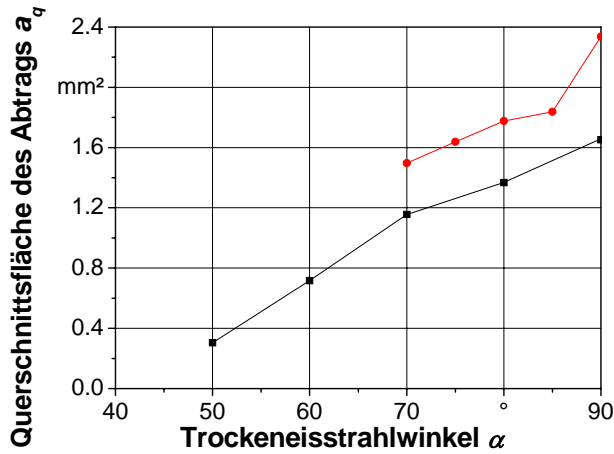
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

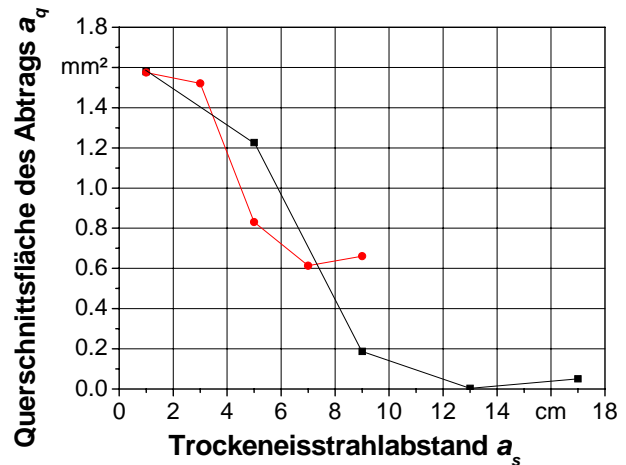
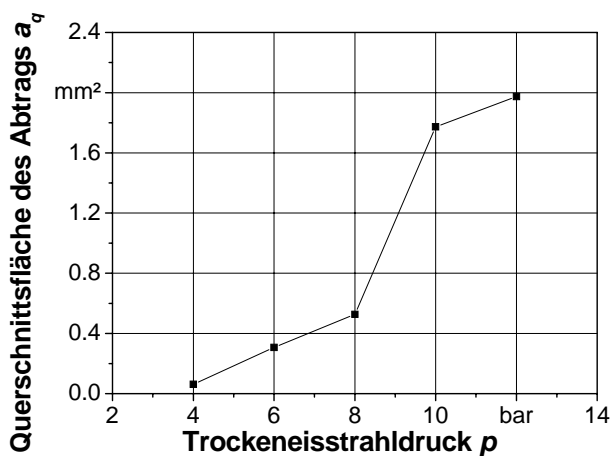
## Parameteroptimierung Trockeneisstrahlen I

- Trockeneisstrahlwinkel
- Trockeneismassenstrom



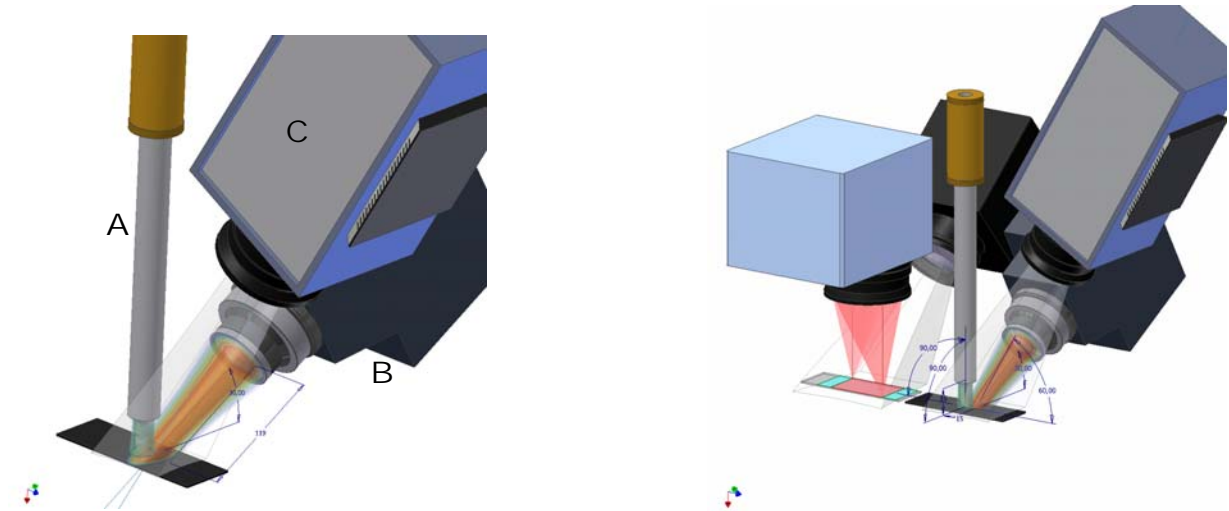
## Parameteroptimierung Trockeneisstrahlen II

- Trockeneisstrahlendruck
- Trockeneisstrahlabstand



## Konzept Hybridverfahren Laser-Trockeneisstrahlen

- Laserunterstütztes Trockeneisstrahlen
- Laserunterstütztes Trockeneisstrahlen und Laserfeinreinigung kombiniert



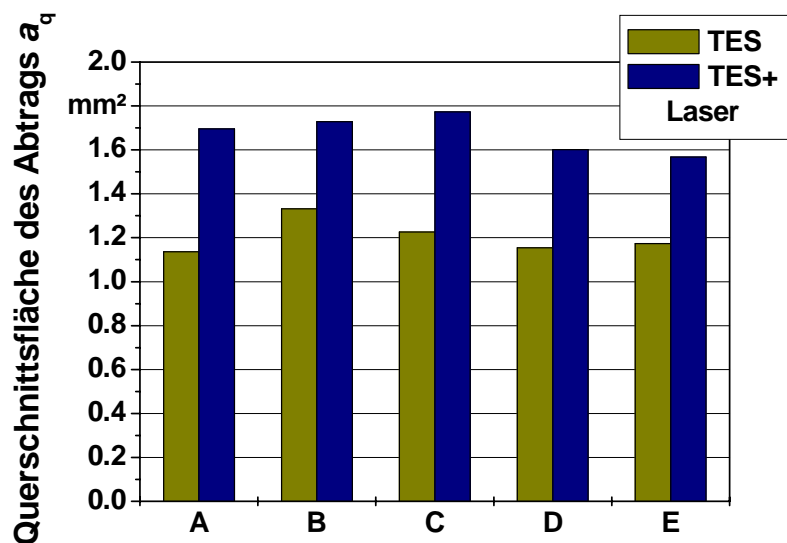
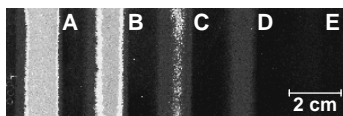
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

## Ergebnisse Hybridverfahren I: Vorreinigung durch Trockeneis- und Feinreinigung durch Laserstrahlen

- Verbesserung des Materialabtrags durch das Hybridverfahren Trockeneis-Laserstrahlen zwischen 28 % und 49 % im Vergleich zum optimierten Trockeneisstrahlen.



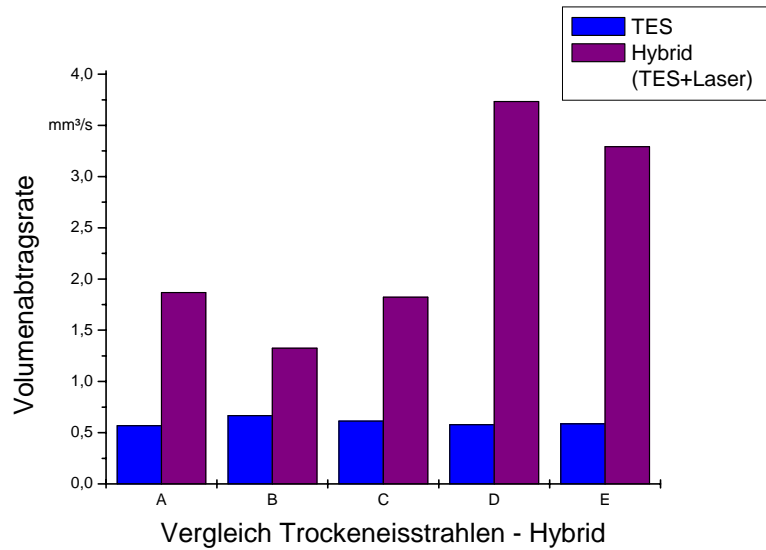
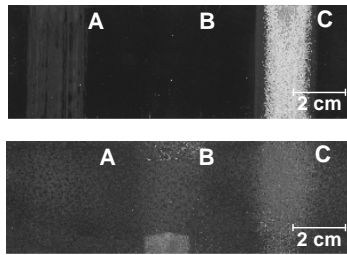
Fraunhofer  
Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik



Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin

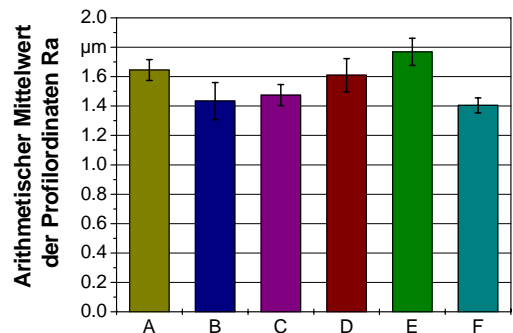
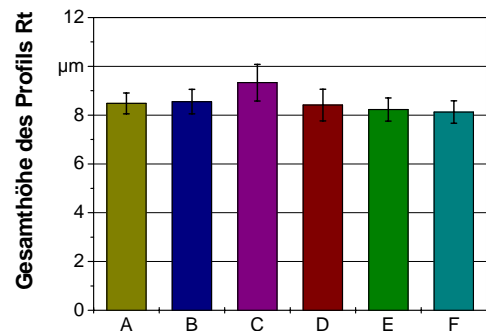
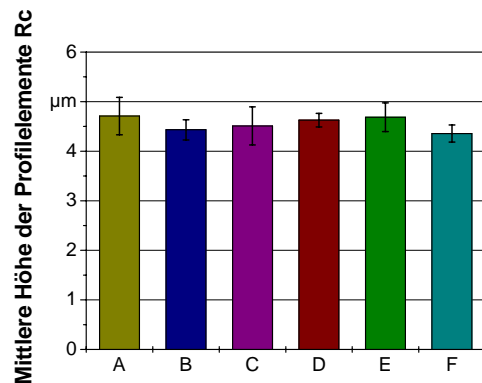
# Ergebnisse Hybridverfahren II: Laserunterstütztes Trocken- eisstrahlen zur Steigerung des thermischen Effekts

- **Verbesserung der Volumenabtragsrate bis zu 500 % im Vergleich zum optimierten Trockeneisstrahlen.**



## Messung der Oberflächenveränderung

- **Mittlere Höhe der Profilelemente Rc**
- **Gesamthöhe des Profils Rt**
- **Arithmetischer Mittelwert der Profilordinaten Ra**



---

## Zusammenfassung

- **Laserfeinreinigung**
    - Steigerung der Reinigungsleistung um bis zu 49 % im Vergleich zum Trockeneisstrahlen, gezielte Vorbehandlung möglich
  - **Laserunterstütztes Trockeneisstrahlen**
    - Steigerung der Abtragsrate auch unter ungünstigen Versuchsparametern
  - **Technologische Verbesserung**
    - Neue Anwendungsbereiche durch gesteigerte Abrasivität
    - Gezielte Steuerung des thermischen und mechanischen Effekts über Strahldruck und Laserleistung
  - **Ökonomische Verbesserung**
    - Anwendungsfallabhängige Zeit- und Betriebskosteneinsparung, höhere Investitionskosten
- 

---

## Ausblick

- weiterführende Untersuchungen notwendig
  - Optimierung der Hybridparameter
  - Vergleich Reinigungsstrategien des Hybridverfahrens
  - Ökonomischer Vergleich
  - Bilderkennung und –auswertung der Trockeneisvorrreinigung für die Laserfeinreinigung

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

---

**Fraunhofer**  Institut  
Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik

**INF**  
Institut für  
Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin