

# Technologischer Vergleich zwischen Trockeneis und anderen festen Strahlmitteln

***Adil El Mernissi***

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb  
Technische Universität Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

---

**IWF** Institut für  
Werkzeugmaschinen  
und Fabrikbetrieb  
Prof. E. Uhlmann

**TU** Technische  
Universität  
Berlin

---

1. Industriearbeitskreis "Trockeneisstrahlen" 29. November 2002, Berlin  
Technologischer Vergleich zwischen Trockeneis und anderen festen Strahlmitteln

---

## Inhalt

-  **Einleitung**  
Problemstellung, Ziel, Vorgehensweise
-  **Druckluftstrahlen mit beständigen Strahlmitteln**  
Verfahren, Anwendungsbeispiele
-  **Versuchsbedingungen**  
Versuchsstand, Strahlmittel, Strahlgutwerkstoff, Strahlprogramm, Messtechnik
-  **Ergebnisse**  
Strahlleistung, Oberflächenrauheit, Oberflächentopographie, Randzonenbeeinflussung, Wirtschaftlichkeit
-  **Zusammenfassung und Ausblick**

---

**IWF** Institut für  
Werkzeugmaschinen  
und Fabrikbetrieb  
Prof. E. Uhlmann

**TU** Technische  
Universität  
Berlin

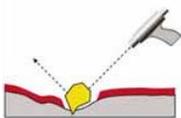
## Einleitung

- Problemstellung**
- Fehlender technologischer Vergleich zwischen Trockeneis und anderen festen Strahlmitteln
  - Keine Aussage über Strahlleistung und Oberflächenqualität nach der Bearbeitung mit beständigen Strahlmitteln
- Ziel**
- Technologischer Vergleich des Entlackens mit Trockeneis und anderen festen Strahlmitteln
- Vorgehensweise**
- Druckluftstrahlen der Strahlgutwerkstoffe unter Variation der Einstellparameter
  - Ermittlung der Strahlleistung
  - Analyse der Strahlgutproben hinsichtlich Oberflächenrauheit, Oberflächentopographie und Randzonenbeeinflussung
  - Wirtschaftliche Bewertung

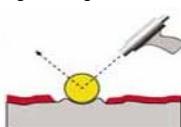
## Druckluftstrahlen mit beständigen Strahlmitteln

### Verfahren

Druckluftstrahlen mit  
kantigem Strahlmittel



Druckluftstrahlen mit  
kugelförmigen Strahlmittel



BASF\_Vortrag

- Änderung der Topographie, Schaffung von Hinterschneidungen und Überhängen sowie eine messtechnisch erfassbare Aufrauung der Oberfläche
- Mechanischer Abtrag von Schichten wie Rost, Zunder und Farbschichten; je nach Verfahren auch Einbettung von Strahlmittelbestandteilen in das Werkstück
- Erhöhung der Druckeigenspannungen im Werkstück, vor allem bei Verwendung von runden Strahlmitteln; Schließen von Mikrorissen und Kaltverfestigungen des Werkstücks
- Änderung des chemischen Zustandes der Oberfläche
- Geringe Investitionskosten
- Flexibilität hinsichtlich Strahlmittelwechsel

## Druckluftstrahlen mit beständigen Strahlmitteln

### Anwendungsbeispiele



➤ Vorbereitung von metallischen Komponenten auf nachfolgende Beschichtungsprozesse

➤ Reinigung von Werkstücken und Konstruktionen aller Art

➤ Mattieren von Glas für Dekorationszwecke

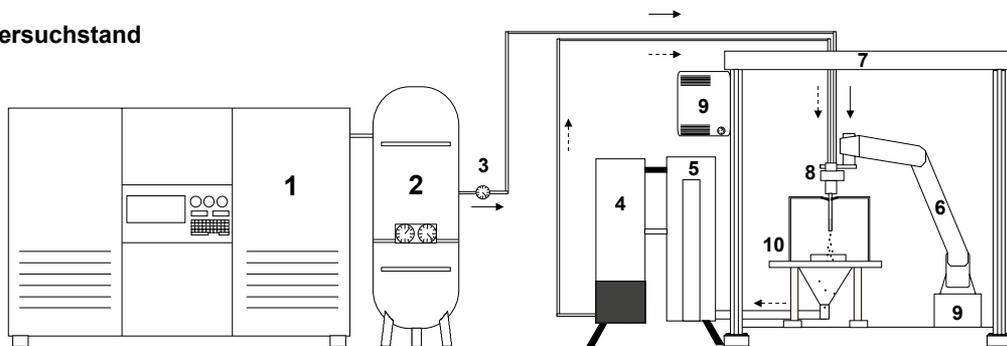


➤ Reinigung von Gebäudefassaden, Entfernen von Ablagerungen auf Beton

➤ Entfernen von Lack- und Farbresten auf Holz

## Versuchsbedingungen

### Versuchstand



1 Schraubenkompressor

2 Ausgleichsbehälter

3 Manometer

4 Sandstrahlanlage

5 Saugereinheit

6 Roboter

7 Schallschuttkabine

8 Strahlpistole

9 Abluftfiltersystem

10 Arbeitstisch

→ Druckluftstrom

---> Strahlmittelstrom

## Versuchsbedingungen

### Strahlmittel

Strahlmittel	Körnung	Anwendungsgebiet
<b>Metallisch:</b>		
Stahlguss kantig	0,12 – 0,42 mm	Aufräumen, Entrosten, Entzundern von Stahl, Oberflächenvorbehandlung für Gummi-Metallverbindungen und Kunststoffbeschichtungen
Stahlguss rund	0,12 – 0,42 mm	Entgraten, Reinigungsstrahlen, Gussputzen
<b>Mineralisch:</b>		
Glasstrahlperlen rund	0,4 – 0,8 mm	Schonendes Reinigen empfindlicher Oberflächen, Kugelstrahlen, Verdichten von NE - Metalloberflächen, Oberflächenfeinischen, Entgraten
Normalkorund	0,595 – 0,841 mm	Aufräumen, Mattieren, Reinigen
<b>Organisch:</b>		
Duroplast	0,2 – 0,6 mm	Schonendes Entgraten und Reinigen empfindlicher Oberflächen ohne Abtrag
Trockeneispellets	Ø 3,0 mm L = 6,7 mm	Schonende Reinigung empfindlicher Oberflächen

## Versuchsbedingungen

### Strahlgutwerkstoffe

Technische Eigenschaften	Werkstoff		
Kurzname	DC01 A	X5CrNi18-10	AlMg3
Werkstoffnummer	1.0330	1.4301	3.3535
Dichte (kg/dm <sup>3</sup> )	7,8*	7,9	2,7
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	210 000*	200 000	70 000
Zugfestigkeit R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	270 - 410	540 - 750	220
Dehngrenze R <sub>P02</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	280	230	130
Strahlprobengeometrie (mm <sup>2</sup> )	200 x 75	200 x 50	200 x 50
Strahlprobendicke (mm)	2	1	1

\* Werte gelten für Stahl allgemein

## Versuchsbedingungen

### Versuchsprogramm Standard Einstellparameter

	<i>Beständige Strahlmittel</i>	<i>Trockeneisstrahlen</i>
• Vorschubgeschwindigkeit	$v_f = 0,4 \text{ m/min}$	
• Strahlabstand	$a = 150 \text{ mm}$	$\dot{m} = 145 \text{ kg/h}$
• Auftreffwinkel	$\beta = 90^\circ$	$\beta = 90^\circ$
• Strahldruck	$p = 6 \text{ bar}$	$p = 10 \text{ bar}$

### Einstellparametervariation

<i>Beständige Strahlmittel</i>	<i>Trockeneisstrahlen</i>
• $v_f = 0,2 / 0,4 / 0,6 / 0,8 / 1,0 \text{ m/min}$	$v_f = 0,2 / 0,4 / 0,6 / 0,8 / 1,0 / 1,2 \text{ m/min}$
• $a = 100 / 150 / 200 / 250 \text{ mm}$	$a = 120 / 150 / 180 \text{ mm}$
• $\beta = 60 / 70 / 80 / 90^\circ$	
• $p = 3 / 4 / 5 / 6 / 7 \text{ bar}$	

### Messprogramm Oberflächenrauheit

Tastschnitt-Messsystem Talysurf-120L, Rank Taylor Hobson GmbH  
 gemittelte Rautiefe  $R_{zDIN}$  nach DIN 4762

### Oberflächentopographie, Randzonen

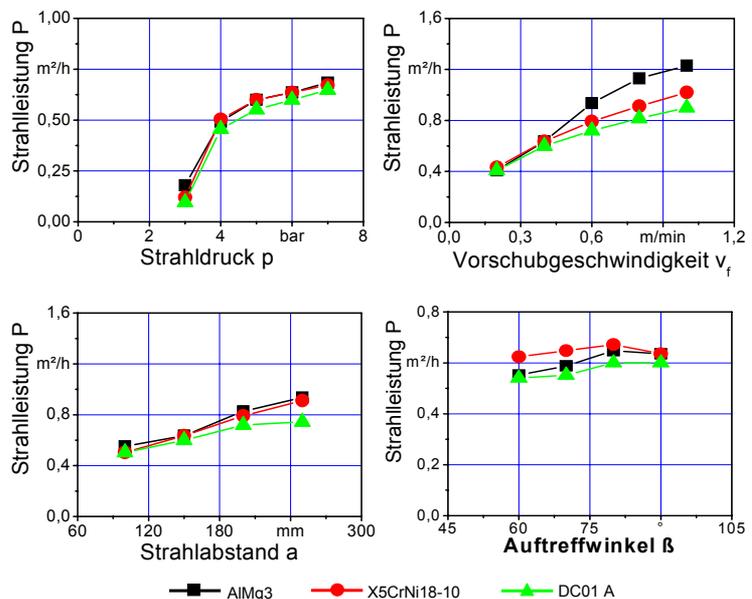
Rasterelektronenmikroskop DSM 950, Carl Zeiss AG

## Ergebnisse

### Strahlleistung

#### Stahlguss kantig

**Strahlanlage:** ABRAS 270  
 Wirkprinzip: Injektor  
 Düsendurchmesser: 7,6 mm  
**Strahlmittel:** Stahlguss kantig  
 Korngruppe: 0,12 - 0,42 mm  
**Standardparameter:**  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Strahlabstand:  $a = 150 \text{ mm}$   
 Vorschubgeschwindigkeit:  $v_f = 0,4 \text{ m/min}$   
 Strahldruck:  $p = 6 \text{ bar}$   
**Strahlproben:**  
 Werkstoffe: AlMg3, DC01 A, X5CrNi18-10  
 Lackart: Einbrennlack  
 Schichtdickenbereich: 100  $\mu\text{m}$



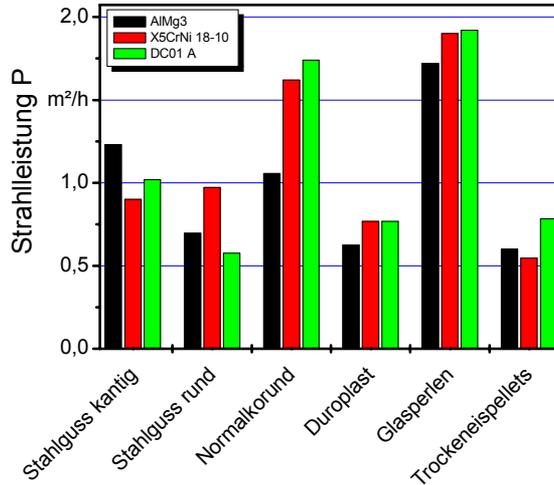
# Ergebnisse

## Strahlleistung

**Strahlanlagen:**  
 Dauerhafte Strahlmittel  
 ABRAS 270  
 Trockeneispellets  
 MICRO JET

**Standardparameter:**  
 Dauerhafte Strahlmittel  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Strahlabstand:  $a = 150$  mm  
 Vorschubgeschwindigkeit:  $v_f = 0,4$  m/min  
 Trockeneis  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Strahlabstand:  $a = 150$  mm  
 Vorschubgeschwindigkeit:  $v_f = 0,8$  m/min  
 Strahldruck:  $p = 10$  bar  
 Massenstrom:  $\dot{m} = 129$  Kg/h

**Strahlgutproben:**  
 Werkstoffe: AlMg3, DC01 A X5CrNi18-10  
 Lackart: Einbrennlack  
 Schichtdicke:  $s_L = 100$   $\mu$ m



# Ergebnisse

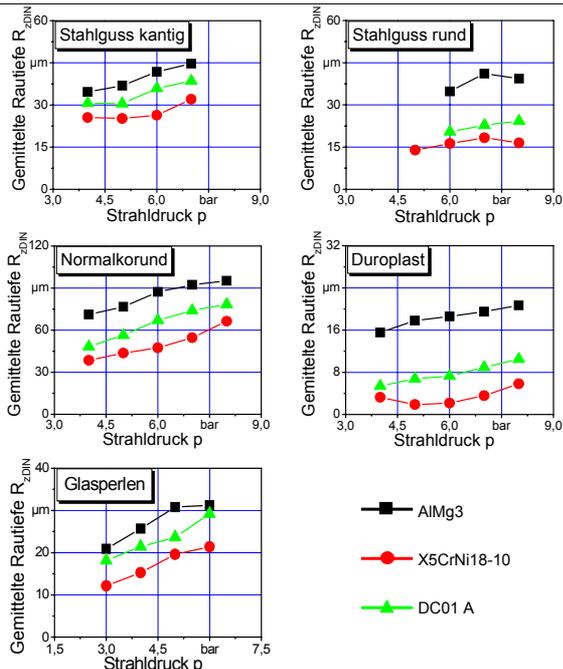
## Oberflächenrauheit

**Standardparameter:**  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Strahlabstand:  $a = 150$  mm  
 Vorschubgeschwindigkeit:  $v_f = 0,4$  m/min

**Messgerät:**  
 Tastschnittmessgerät  
 Talsurf-120L, Taylor Hobson

**Messtaster:**  
 Spitzenradius:  $2$   $\mu$ m  
 Spitzenwinkel:  $90^\circ$

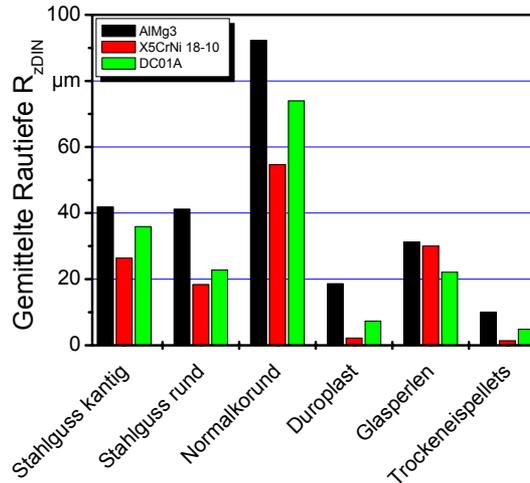
**Gemittelte Rautiefe:** unbearbeitet  
 $R_{zDIN} = 1,34$   $\mu$ m (AlMg3)  
 $R_{zDIN} = 1,17$   $\mu$ m (X5CrNi18-10)  
 $R_{zDIN} = 2,90$   $\mu$ m (DC01 A)



## Ergebnisse:

### Oberflächenrauheit

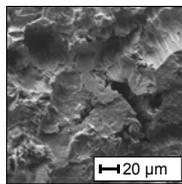
**Standardparameter:**  
 Dauerhafte Strahlmittel  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Strahlabstand:  $a = 150$  mm  
 Vorschubgeschwindigkeit:  $v_f = 0,4$  m/min  
 Strahldruck:  $p = 6$  bar  
**Trockeneis**  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Strahlabstand:  $a = 150$  mm  
 Vorschubgeschwindigkeit:  $v_f = 0,8$  m/min  
 Strahldruck:  $p = 10$  bar  
 Massenstrom:  $\dot{m} = 129$  Kg/h  
**Messgerät:**  
 Tastschnittmessgerät  
 Tallysurf-120L Taylor Hobson  
**Messtaster:**  
 Spitzenradius:  $2 \mu\text{m}$   
 Spitzenwinkel:  $90^\circ$



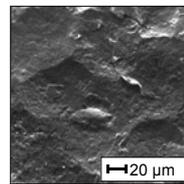
## Ergebnisse

### Oberflächentopographie

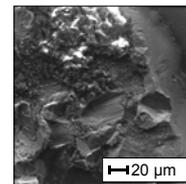
**Standard Parameter:**  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Vorschub:  $v_f = 0,4$  m/min  
 Strahlabstand:  $a = 150$  mm  
 Strahldruck:  $p = 6, 10$  bar  
**Messgerät:**  
 Rasterelektronenmikroskop  
 DSM 950, Carl Zeiss AG  
**Strahlgut:**  
 DC01 A



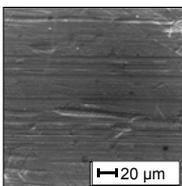
Stahlguss kantig



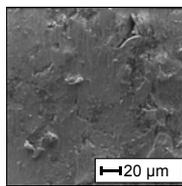
Stahlguss rund



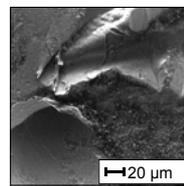
Normalkorund



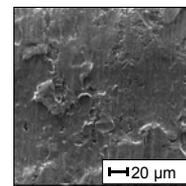
unbearbeitet



Duroplast



Glasperlen

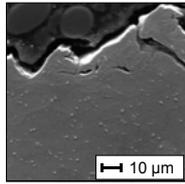


Trockeneisstrahlen

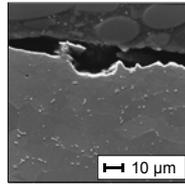
# Ergebnisse

## Randzonenbeeinflussung

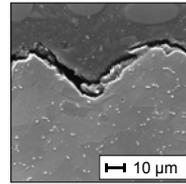
**Standard Parameter:**  
 Auftreffwinkel:  $\beta = 90^\circ$   
 Vorschub:  $v_f = 0,4 \text{ m/min}$   
 Strahlabstand:  $a = 150 \text{ mm}$   
 Strahlendruck:  $p = 6, 10 \text{ bar}$   
**Messgerät:**  
 Rasterelektronenmikroskop  
 DSM 950, Carl Zeiss AG  
**Strahlgut:**  
 DC01 A



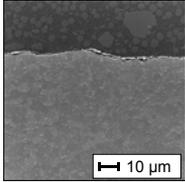
Stahlguss kantig



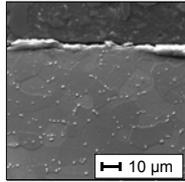
Stahlguss rund



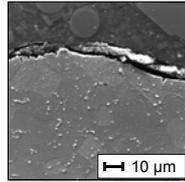
Normalkorund



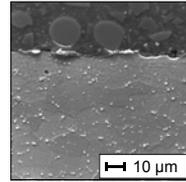
unbearbeitet



Duroplast



Glasperlen



Trockeneisstrahlen

## Ergebnisse: Wirtschaftliche Bewertung

### Wirtschaftliche Bewertung

MaschinenStundensatz	$k_{Mh} = 13,3 \text{ €/h}$
$k_{Mh} = \frac{k_A + k_Z + k_E + k_I}{t_N}$	
Maschinenkosten pro Jahr:	
Kalkulatorische Abschreibung	$k_A = 5.075,0 \text{ €}$
kalkulatorische Zinsen	$k_Z = 2.037,0 \text{ €}$
Energiekosten	$k_E = 13.104,0 \text{ €}$
Instandhaltungskosten	$k_I = 1.015,0 \text{ €}$
Nutzungszeit	$t_N = 1.600,0 \text{ h}$
<b>Werkzeugkosten</b>	$k_{ME} = 64 \text{ €/h}$
$k_{ME} = k_p \cdot \dot{m}_p$	
Kosten des Stahlgusses kantig	$k_p = 0,80 \text{ €/kg}$
Massenstrom an Strahlmittel	$\dot{m}_p = 80,0 \text{ kg/h}$
Lohnkosten	$k_L = 22,5 \text{ €/h}$

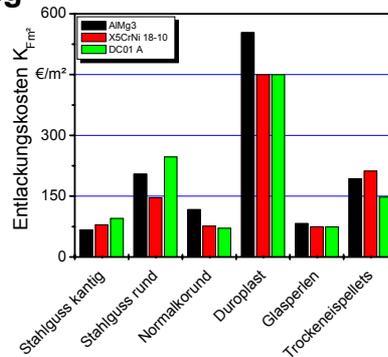
#### Entlacken von metallischen Werkstoffen

Strahlgut:  
 AlMg3  
 Beschichtung:  
 Einbrennlack ALEXIT Strukturack Z 422  
 Schichtdicke  $s_L = 100 \text{ µm}$   
 Flächenbezogene Abtragsrate  $Q = 1,5 \text{ m}^2/\text{h}$

#### Kosten für die Entlackung

$$k_{Fnt} = \frac{k_{Fh}}{Q}$$

= 66,5 €/m<sup>2</sup>



## Zusammenfassung

	Strahlleistung	Gemittelte Rautiefe	Oberflächentopographie	Randzonenbeeinflussung	Wirtschaftlichkeit	Verformung	Restverschmutzungen
Stahlguss kantig	+	-	-	-	+	-	+
Stahlguss rund	-	-	-	-	-	-	-
Normalkorund	+	-	-	-	+	-	-
Duroplast	-	+	+	+	-	+	-
Glasperlen	+	+	-	-	+	+	-
Trockeneisstrahlen	-	+	+	+	+	+	+

## Ausblick

- Entwicklung einer Hybridreinigungstechnologie mit Trockeneisstrahlen und Laser
- Prozessoptimierung der Laserreinigung
- Entwicklung und Realisierung einer Demontagewissensplattform (DWP) zur Auslegung und Optimierung der Reinigungsprozesse

