
Aktuelle Forschung und Trends zur Reinigung mit Kohlendioxid



Fraunhofer Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik

Aktuelle Forschung und Trends zur Reinigung mit Kohlendioxid

Agenda

- Kohlendioxid: Vorkommen und Nutzen
- Kohlendioxid: Nutzung in der Fertigung
- Markt- und Trendanalyse in der Reinigungstechnik
- Potential für Kohlenstoffdioxid in der Reinigungstechnik

Kohlendioxid – Vorkommen



Natürlicher Bestandteil der Atmosphäre (0,04 Vol.-%)

[1, 2]

Vorkommen	Tonnen / Jahr
Weltweiter geogener (natürlicher) CO ₂ -Ausstoß	550 000 000 000
Weltweiter anthropogener (vom Menschen verursachter) CO ₂ -Ausstoß	30 200 000 000
Anthropogener CO ₂ -Ausstoß in Deutschland	890 000 000
Verbrauch „technisches“ CO ₂ in Deutschland	900 000

Seite 3 / 29

[1] YARA Industriegase und Chemikalien
[2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2006

Kohlendioxid – Gewinnung von technischem CO₂



- Gewinnung aus natürlichen Quellen
- In einigen Ländern Verbrennung fossiler Brennstoffe zur CO₂-Gewinnung üblich
- Abfallprodukt vielfältiger industrieller Prozesse
 - ▶ Wasserstofferzeugung in Raffinerien
 - ▶ Ammoniakherstellung
 - ▶ Ethylenherstellung
 - ▶ Gärprozesse

→ Bisher keine Nutzung des CO₂ aus Verbrennungsprozessen

Seite 4 / 29

Kohlendioxid

Anzeige Anzeige

Der Philip-Morris-Preisträger Professor Bernhard Rieger zu den Chancen der Katalyse

»Mit CO₂ bekommen wir einen Rohstoff, den wir nicht mal ausgraben müssen.«



Professor Rieger, das früher kaum beachtete Kohlendioxid (CO₂) gilt heute aufgrund der Klimadiskussion vor allem als gefährlicher Schadstoff. Hat dieses Molekül seinen schlechten Ruf zu Recht?
Nein, Kohlendioxid selber ist weder gut noch böse. Selbstverständlich müssen wir seinen Einfluss auf die Erderwärmung genauestens studieren und die von uns Menschen verursachten Emissionen minimieren. Aber die teils heftigen Emotionen rund um das CO₂ verstellen den Blick auf neue Möglichkeiten, Kohlendioxid produktiv in den Stoffkreislauf zurückzuführen. CO₂ ist nicht nur ein natürlicher und unabdingbarer Bestandteil unserer

wieder ein einfaches Molekül wie das Kohlendioxid entsteht, sondern ein wertvoller makromolekularer Werkstoff, ein Polymer.

Und damit lohnt sich der Energieaufwand, den die Rückführung des trägen CO₂ in den Stoffkreislauf erfordert?
Genau. Die Natur muss bei ihren Synthesen nicht unbedingt effizient arbeiten, weil sie viele kleine chemische Reaktoren in Form von einzelnen Zellen einsetzen kann. Wir Menschen dagegen brauchen aus ökologischen und ökonomischen Gründen große Reaktoren. Deshalb müssen wir eine CO₂-Chemie anstreben, die besonders wertvolle Produkte ermöglicht. Allerdings kann niemand in die Zukunft schauen. Warum sollte es uns nicht gefin-

Seite 5 / 29

Berliner Zeitung 6. Oktober 2008: Professor Bernhard Rieger, TU München

Nutzung von technischem CO₂



Deutschland:
800 – 1.000 Kilotonnen/Jahr

Europa:
3.000 Kilotonnen/Jahr

- Getränkeindustrie 40 %^[1]
 - Lebensmittelindustrie 30 %
 - Fertigungstechnik (v. a. Schweißen) 8 %
 - Transportkühlung 4 %
 - sonst. Anwendungen > 2 %
- | | |
|---------------------------|------------------------|
| ▶ Wasserbehandlung | ▶ Feuerlöscher |
| ▶ Prozesschemie | ▶ Schädlingsbekämpfung |
| ▶ Gewächshäuser | ▶ Extraktion |
| ▶ Medizinische Endoskopie | ▶ Treibgas |
| | ▶ Klimatisieren |

[1, 2]

[1] YARA Industriegase und Chemikalien
[2] Air Liquide Industriegase

Kohlendioxid in der Fertigungstechnik

- Größte Verbraucher:
Fügen: CO₂-Schutzgas für Schweißverfahren
- Sonst. Anwendung in Fertigungstechnik:
 - ▶ Urformen: Extrudieren
 - ▶ Stoffeigenschaften ändern: Kaltmahlen
 - ▶ Trennen:
 - Abtragen: CO₂-Laser
 - Reinigen
- Großes Potenzial im Bereich der industriellen Reinigungstechnik
 - ▶ CO₂ als Strahlmittel
 - ▶ CO₂ als Lösemittel

Seite 7 / 29

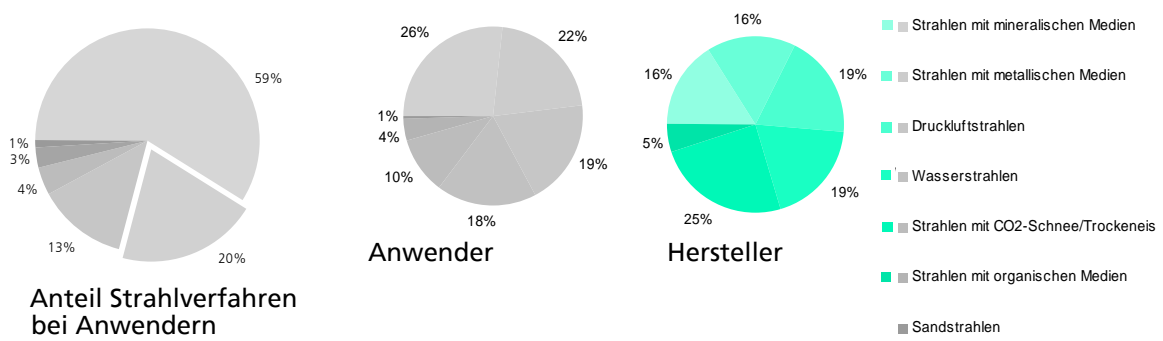
Markt- und Trendanalyse in der Teilereinigung



- Teilereinigung gewinnt an Bedeutung
- Fehlende fundierte Informationen über wirtschaftliche und technologische Strukturierung
- Marktstudie und Trendanalyse durchgeführt vom Fraunhofer IPK unter Mitwirkung von fairXperts
 - ▶ Befragungszeitraum: Juni – August 2007 im deutschsprachigen Raum
 - ▶ Zusendung eines anonymen Fragebogens an 6000 Unternehmen (Rücklaufquote: 10 %)
 - ▶ Separate Befragung von Herstellern und Anwendern von Reinigungsequipment

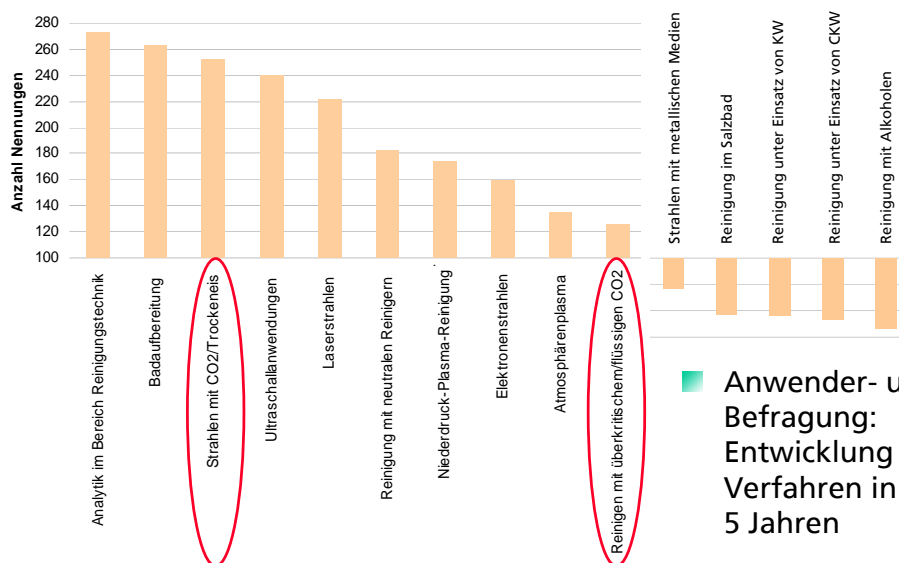
Seite 8 / 29

Marktanteile der Strahlverfahren



■ Trend: Anlagen zum Strahlen mit festem CO₂ werden von Herstellern (25 %) derzeit mehr verkauft als angewendet (10 %)

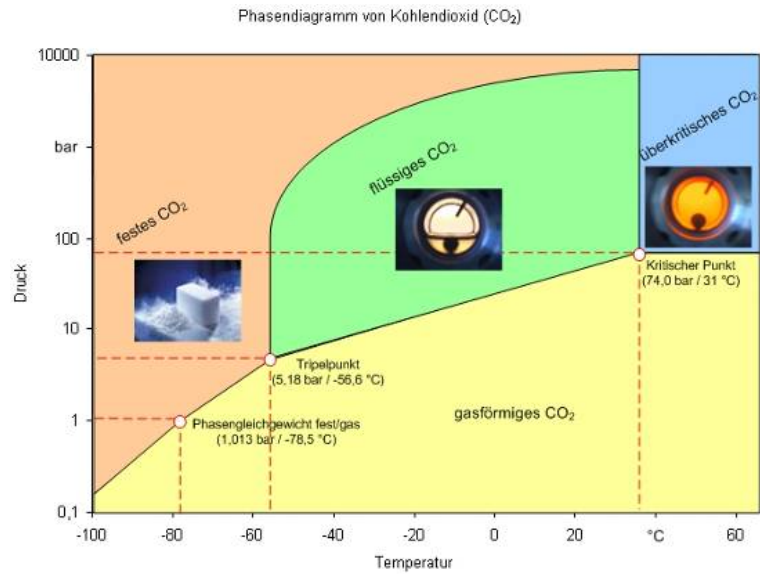
Entwicklung einzelner Verfahren



■ Anwender- und Hersteller-Befragung:
Entwicklung einzelner
Verfahren in den nächsten
5 Jahren

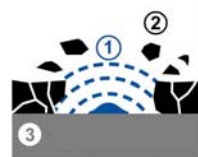
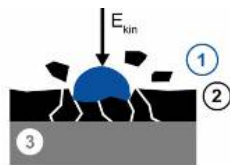
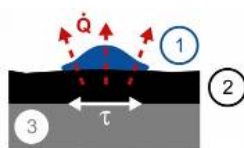
Chancen für Kohlendioxid in der Reinigungstechnik

- Strahlverfahren
 - ▶ Trockeneisstrahlen
 - ▶ CO₂-Schneestrahlen
- „Nass“verfahren
 - ▶ Flüssiges CO₂
 - ▶ Überkritisches CO₂



Seite 11 / 29

Strahlen mit festem Kohlendioxid – Prinzip

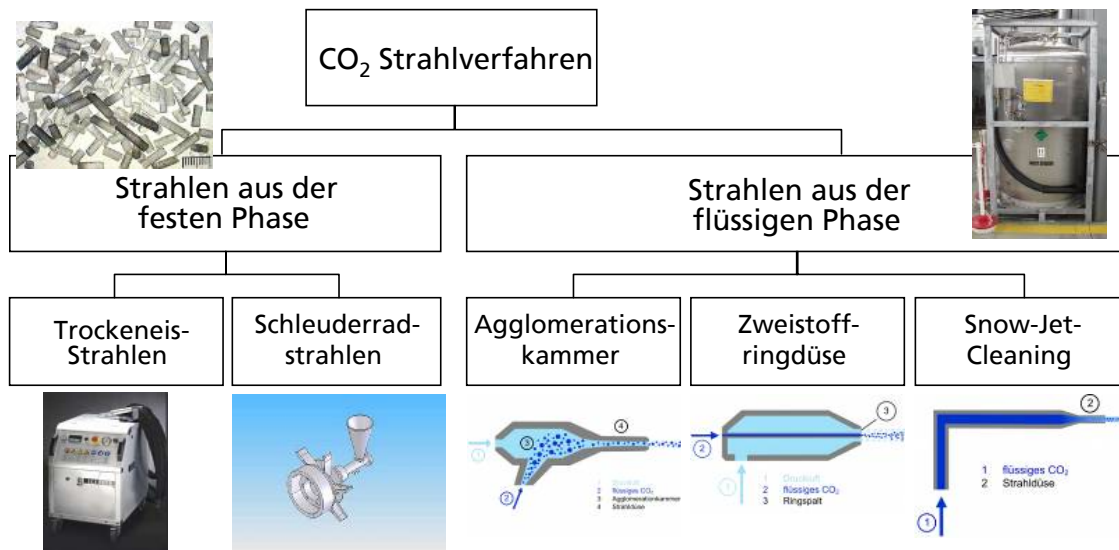


- 1 CO₂-Partikel
- 2 Verunreinigung
- 3 Substrat

- Thermischer Effekt
 - ▶ Thermospannungen zwischen Substrat und zu entfernender Schicht
 - ▶ Lokale Versprödung der Verunreinigung
- Mechanischer Effekt
 - ▶ Impulsübertrag der Partikel und Druckluft auf die Oberfläche
- Sublimationseffekt
 - ▶ Unterstützung des mechanischen Effektes durch Druckwelle bei Volumenvergrößerung der Sublimation
 - ▶ Unterstützung des thermischen Effektes durch Wärmetzug der Sublimation

Seite 12 / 29

Strahlen mit festem Kohlendioxid – Überblick



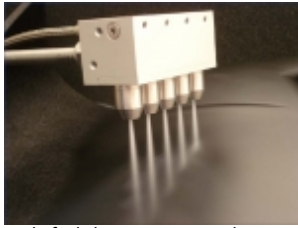
Seite 13 / 29

Vergleich Trockeneisstrahlen und CO₂-Schneestralen

Trockeneisstrahlen	CO ₂ -Schneestralen
Nutzung von separat erzeugtem und zuzuführendem Trockeneis (Pellets)	Nutzung von flüssigem CO ₂ direkt aus Druckgasflaschen oder Tanks
Trockeneis in isolierten Behältern bis 5 Tagen lagerbar	Unbegrenzte Lagerfähigkeit des Strahlmittels
Höhere abrasive Wirkung	Geringere abrasive Wirkung
Flexibel, breites Parameter- und Anwendungsspektrum	Sehr gute Automatisierbarkeit
Hoher Volumenstrom erforderlich → Lärmschutzmaßnahmen erforderlich	

Seite 14 / 29

Strahlen mit festem Kohlendioxid – Vorteile



Mehrfachdüse zur Anwendung in der flächigen Reinigung [1]



Trockeneisreinigung einer Produktionsanlage für Tiefkühlprodukte

- Kein Eintrag von Sekundärabfälle, geringe Entsorgungskosten aufgrund des geringen Abfallvolumens
- Keine Trocknung
- Kurze Reinigungszeiten ohne Demontage
- Selektiver Reinigungsprozess mit geringer abrasiver und korrosiver Substratbeeinflussung
- Breites Anwendungsspektrum von Feinreinigung bis Entschichtung
- Einfache, gut automatisierbare Anlagentechnik
- Leicht in Fertigungsketten integrierbar

Seite 15 / 29

[1] acp - advanced clean production

Trockeneisstrahlen – Anwendungen



Reinigung von Gussformen [1]



Entlacken von Karosserieteilen

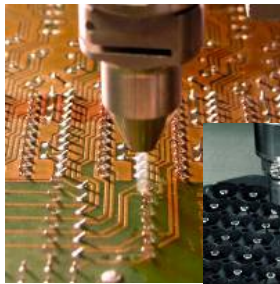


- Reinigen von Maschinen, Anlagen und Funktionsoberflächen
- Reinigen von Spritzgussformen in der Kunststoffindustrie
- Reinigen spannungsführender Anlagen und elektronischer Komponenten
- Entlacken, Entgraten, Entschichten
- Entfernen keramischer Wärmedämmschichten

Seite 16 / 29

[1] Linde Gas

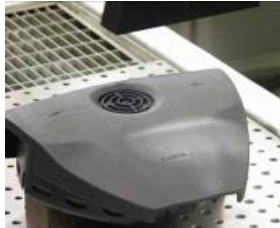
CO₂-Schneestrahlen – Anwendungen



Leiterplatten-
reinigung [1]



Linsenreinigung [1]



Reinigung von Kunststoffoberflächen

- Reinigen von Metall- und Kunststoffoberflächen
- Reinigung sensibler optischer Linsen
- Reinigung empfindlicher elektronischer Komponenten
- Vorbehandeln vor dem Lackieren und Kleben

Projekt – „SchneeLack“



Automatisiertes
Vorbehandlungsverfahren
vor dem Lackieren und
Kleben mit CO₂-
Schneestrahlen

- Problematik des aktuell in der Automobilindustrie verwendeten Vorbehandlungsverfahrens (Powerwash):
 - ▶ Trocknung erforderlich
 - ▶ Hoher Platzbedarf
 - ▶ Energie- und kostenintensive Aufbereitung der Bäder
- Projektziele:
 - ▶ Substitution herkömmlicher Vorbehandlungsverfahren
 - ▶ Optimierung und Automatisierung der Schneestrahntechnologie
 - ▶ Parameterstudien zum Erreichen besserer Lackhaftung
 - ▶ Analyse der Wirtschaftlichkeit

■ Projektdauer: 01.01.2007 bis 31.12.2008



Ergebnisse – „SchneeLack“



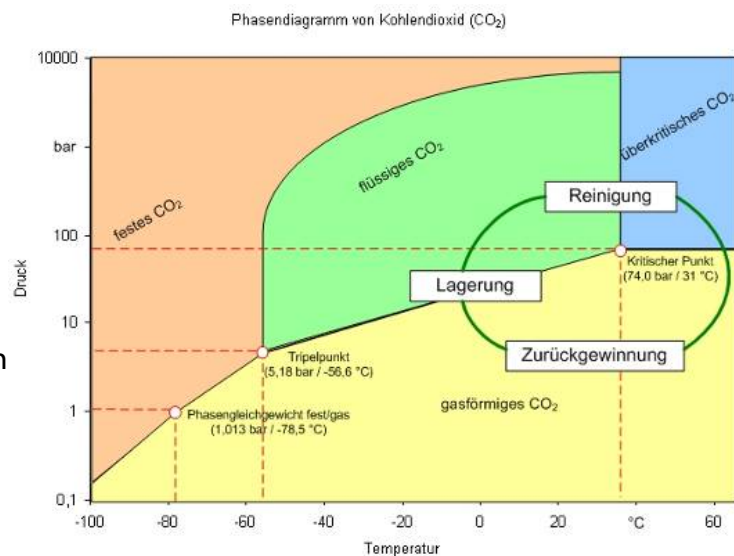
Automatisiertes Vorbehandeln eines Stoßfanges mit CO₂-Strahlen [1]

- Vorbehandlung von Kunststoffen mittels CO₂-Schneestrahlen nachgewiesen
- Geforderte Lackhaftung wird erreicht
- Strahlanlagen lassen sich in Lackieranlage integrieren
- Wirtschaftliche Vorbehandlung in Abhängigkeit der Verunreinigung möglich

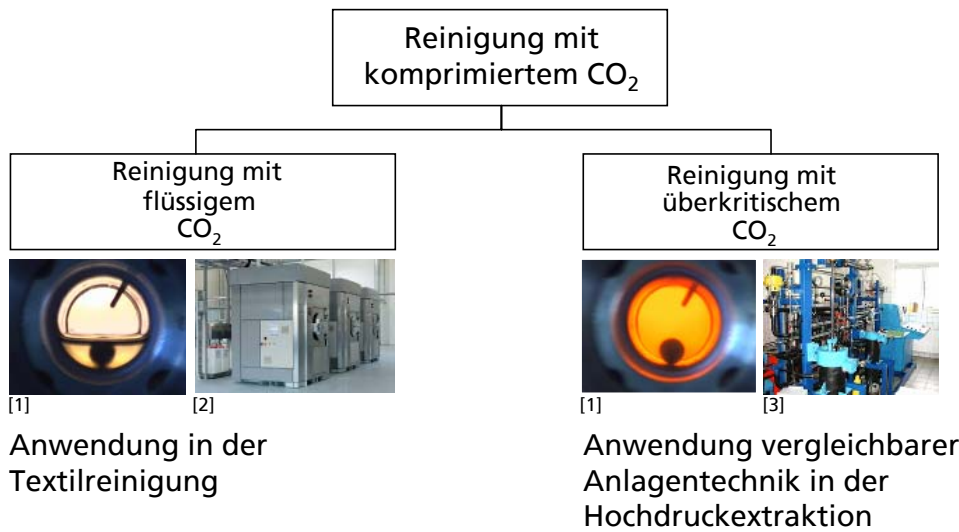
- ▶ Verfahrenskosten von 0,15 bis 2,20 €/m²
- ▶ Verfahrensleistung von 7,20 bis 90 m²/h
- ▶ Powerwash zum Vergleich: 0,4 bis 1 €/m²

Reinigung mit komprimiertem CO₂ - Prinzip

- Flüssiges und überkritisches CO₂ hat Lösemittleigenschaften
- Verliert diese wieder in der Gasphase
- Nutzung zur Teilereinigung mit Rückgewinnung des CO₂
- Eignung bei Ölen, Fetten und filmischen Verunreinigungen
- Bisher kaum Anwendungen in der Fertigung



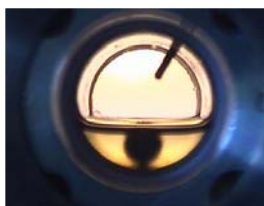
Anlagentechnik



Seite 21 / 29

[1] Ruhr Universität Bochum
[2] Fred Butler Textilreinigungsanlagen
[3] Institut für Getreide Verarbeitung Berlin

Reinigung mit komprimiertem CO₂ - Vorteile



Flüssiges CO₂ in Hochdrucksichtzellenversuchen [1]



Überkritisches CO₂ in Hochdrucksichtzellenversuchen [1]

- Vorteile gegenüber herkömmlichen Nassverfahren
 - ▶ Nicht toxisches, nicht brennbares und leicht verfügbares Lösemittel
 - ▶ Keine Umwelt- oder Gefahrstoffauflagen
 - ▶ Keine Sekundärabfälle
 - ▶ Keine Trocknung
 - ▶ Keine Badpflege oder -aufbereitung
- Nachteile
 - ▶ Aufwändige und kostenintensive Anlagentechnik
 - ▶ Abreinigung von Partikeln nur mit unterstützenden Maßnahmen

Seite 22 / 29

[1] Ruhr Universität Bochum

Reinigung mit komprimiertem CO₂ - Anwendungen



Kugelschreibermienen zur Nassreinigung



Sintermetallteil

- Reinigungsgut trocken, CO₂ wird zum Ende eines Reinigungsprozesses in die Gasphase überführt
 - Reinigung von Schüttgütern
 - Reinigung von porösen Bauteilen (Sintermetalle)
 - Keine Medienrückstände (Feinmechanik, Optik)
- Hohe Spaltgängigkeit in überkritischer Phase
 - Reinigung komplexer Geometrien

Seite 23 / 29

Reinigung mit komprimiertem CO₂ - Vorteile



Implantate [1]



Kunststoffbauteil [2]

- Kohlendioxid als Reinigungsmedium gesundheitlich unbedenklich
- Keimreduzierende Wirkung
 - Reinigung in der Medizintechnik
- Niedrige Reinigungstemperaturen
 - ▶ Flüssige Teilereinigung bei ca. 20 °C
 - ▶ Erreichen T_{krit} bei 31 °C
 - Reinigung temperaturempfindlicher Teile (z. B. Kunststoff)

Seite 24 / 29

Aktuelle Projekte – „KodiWasch“



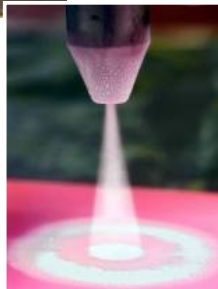
Entwicklung einer dezentralen Anlagentechnik zur wirtschaftlichen Reinigung mit flüssigem und überkritischem Kohlendioxid.



- Substitution / Ergänzung der Lösemittelreinigung
- Prüfung der technologischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit
- Entwicklung eines Anlagenprototypen
 - ▶ Untersuchung der Löslichkeit verschiedener Verunreinigungen
 - ▶ Untersuchung der keimreduzierenden Wirkung
- Prüfen von Maßnahmen zur Unterstützung der Reinigungsleistung
 - ▶ Untersuchung der unterstützenden Wirkung durch Ultraschall, niederfrequente Schwingungen, Bewegung der Bauteile
 - ▶ Einbringen von Tensiden / Korrosionsschutz

Seite 25 / 29

Zusammenfassung



- Hohes Potenzial von Kohlendioxid in der Reinigungstechnik
 - ▶ Steht „als Rohstoff“ nahezu unbegrenzt zur Verfügung
 - Strahlen mit festem CO₂
 - ▶ Potenziale sowohl Bereich Wartung und Instandhaltung als auch bei der fertigungsintegrierten Reinigung in der Produktion
 - Reinigung mit komprimiertem CO₂
 - ▶ Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten aufgrund technologischer Vorteile
- Forschungsbedarf

Seite 26 / 29

Weitere Anwendungsmöglichkeiten in der Fertigungstechnik



- CO₂- Schnee als Kühlschmierstoff (KSS) in der spanenden Fertigung
- Funktion von KSS
 - ▶ Kühlen ✓
 - ▶ Spanabfuhr ✓
 - ▶ Schmieren ?
- Vorteile gegenüber herkömmlichen KSS
 - ▶ Keine Vorhaltung und Aufbereitung
 - ▶ Keine Gesundheitsgefährdung
 - ▶ Keine anschließende Bauteilreinigung notwendig

Seite 27 / 29

Weitere Anwendungsmöglichkeiten in der Fertigungstechnik



- Aufbereitung von Spänen mit komprimiertem CO₂
 - ▶ Sortenreine Wiederverwendung des Kühlschmierstoffs
 - ▶ Wiederverwertung der Späne
 - ▶ Realisieren von ressourceneffizienten Fertigungsprozessen
- CO₂-Strahlschneiden „KodiCut“
 - ▶ Verbindung der Vorteile: Wasserstrahlschneiden und CO₂-Strahlen



Seite 28 / 29

Kontakt



Fraunhofer-Institut für
Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)
Pascalstraße 8 – 9
10587 Berlin
Deutschland



Dipl.-Ing. (FH) Martin Bilz M. Sc.

fon: +49 (0) 30 / 3 90 06-147

fax: +49 (0) 30 / 3 91 10 37

mail: martin.bilz@ipk.fraunhofer.de

web: www.ipk.fhg.de

www.strahlverfahren.de

www.allianz-reinigungstechnik.de

Seite 29 / 29