



Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **iWF**



# Vorlesung Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder 18. Juni 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik



Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **iWF**



## Kapitel 6: Beschichten

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Birte Horn 18. Juni 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

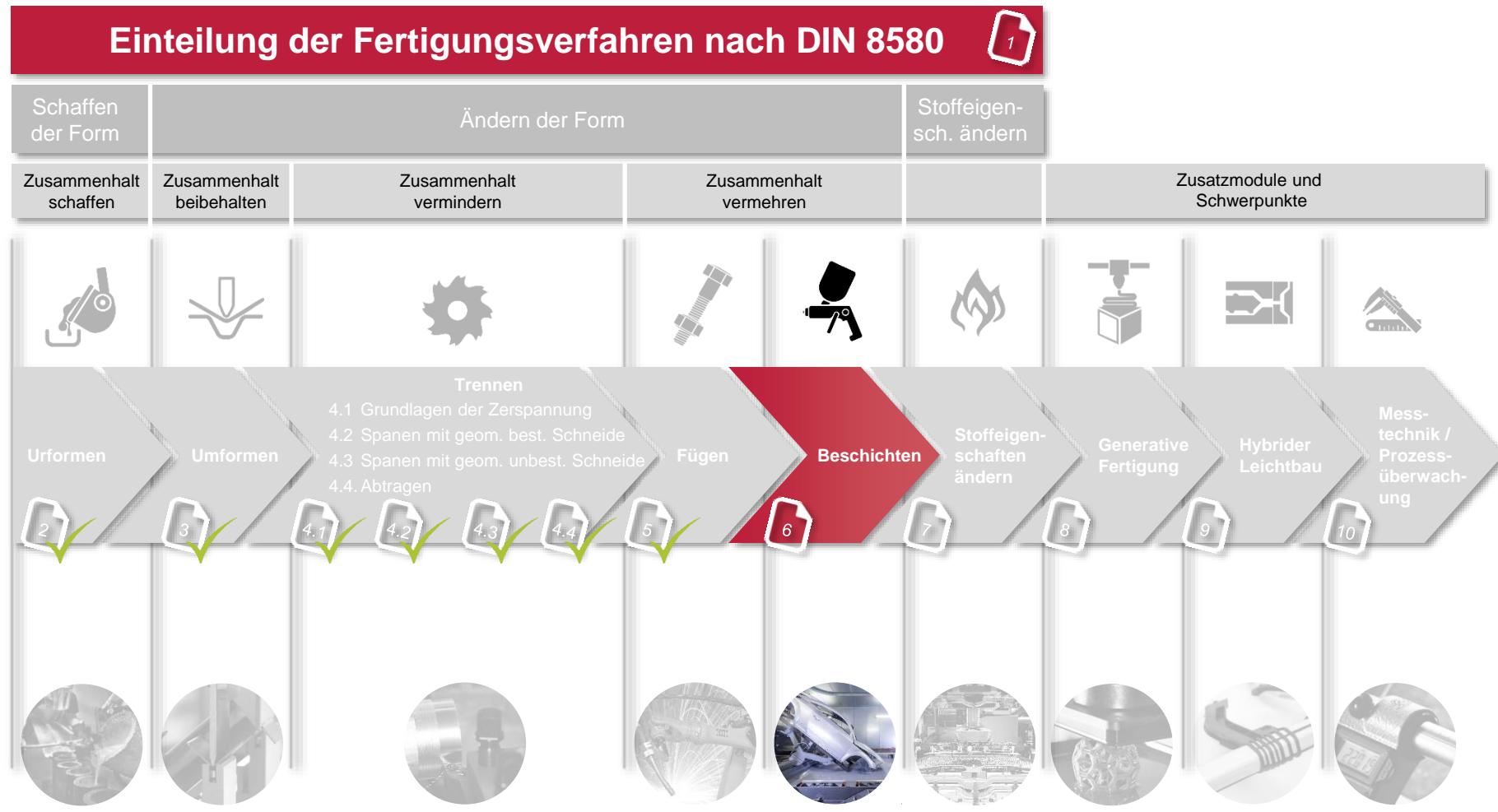
# Einheiten der Vorlesung Fertigungstechnik

## Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580



# Einheiten der Vorlesung Fertigungstechnik

## Beschichten



# Ziele der heutigen Vorlesung



# Beschichten

## Beschichtungsfunktionen

### Funktion

- Korrosionsbeständigkeit
- Verschleißbeständigkeit
- Gleiteigenschaften
- Härte
- Leitfähigkeit

### Dekoration

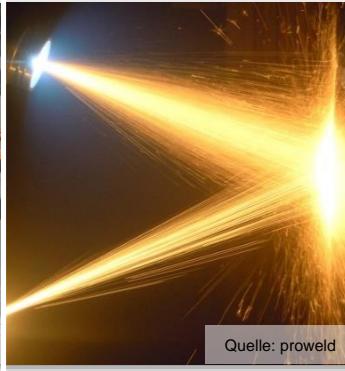
- Farbe
- Glanz
- Deckvermögen
- Rauheit
- Einebnung



# Einteilung elementarer Beschichtungsverfahren

## Ausgewählte Beschichtungsgruppen nach DIN 8580

### Einteilung der Beschichtungsverfahren nach DIN 8580

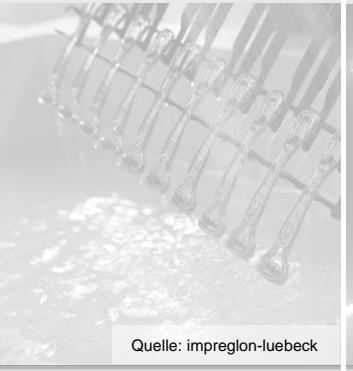
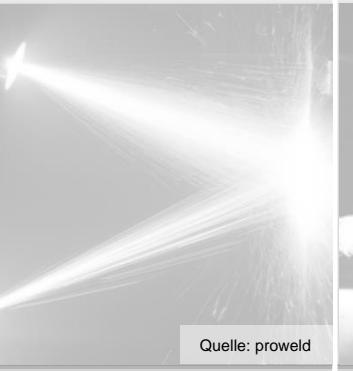
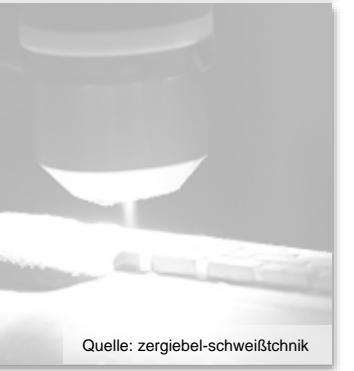
Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Beschichten aus dem flüssigen oder pastenförmigen Zustand	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	Beschichten aus dem festen Zustand	Sonstige (vgl. Skript)
 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: motorload	 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: proweld	 Quelle: zergiebel-schweißtechnik

**Beschichten** ist Fertigen durch Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück.

# Einteilung elementarer Beschichtungsverfahren

## Ausgewählte Beschichtungsgruppen nach DIN 8580

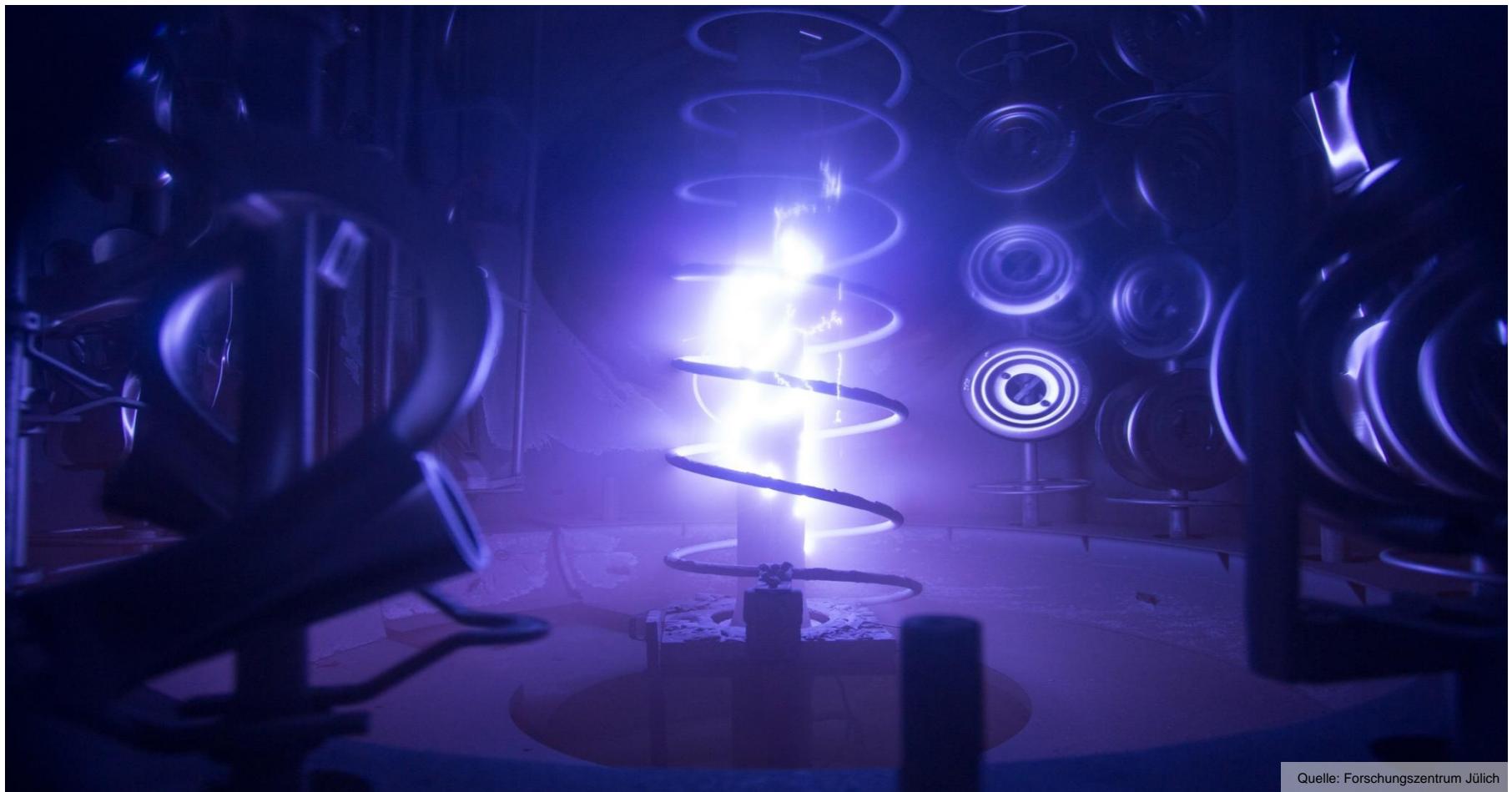
### Einteilung der Beschichtungsverfahren nach DIN 8580

Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Beschichten aus dem flüssigen oder pastenförmigen Zustand	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	Beschichten aus dem festen Zustand	Sonstige (vgl. Skript)
 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: motorload	 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: proweld	 Quelle: zergiebel-schweißtechnik

**Beschichten** ist Fertigen durch Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück.

# Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand

## Physikalische Gasabscheidung



Quelle: Forschungszentrum Jülich

# Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand

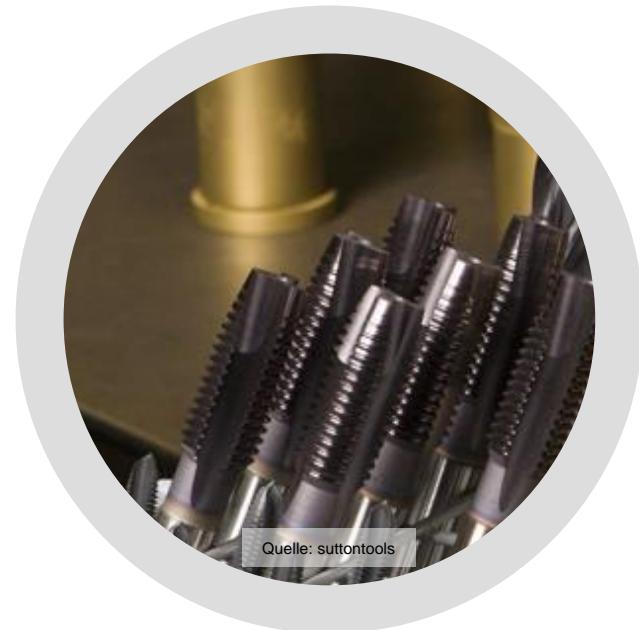
## Physikalische Gasabscheidung

### Physical Vapour Deposition (PVD)

- Abscheiden von Atomen oder Molekülen aus der Gasphase
- Schichtdicken von <1 nm bis >1mm

### Verfahren

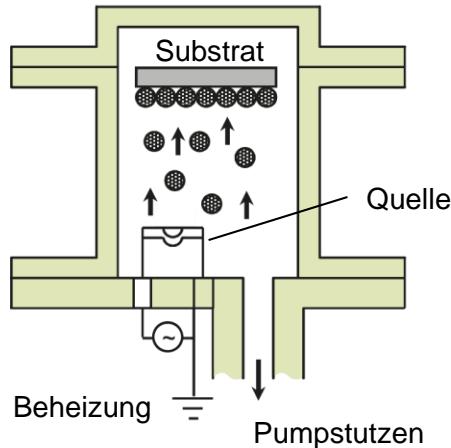
- Vakuumaufdampfen
- Aufstäuben (Sputtern)
- Ionenplattieren



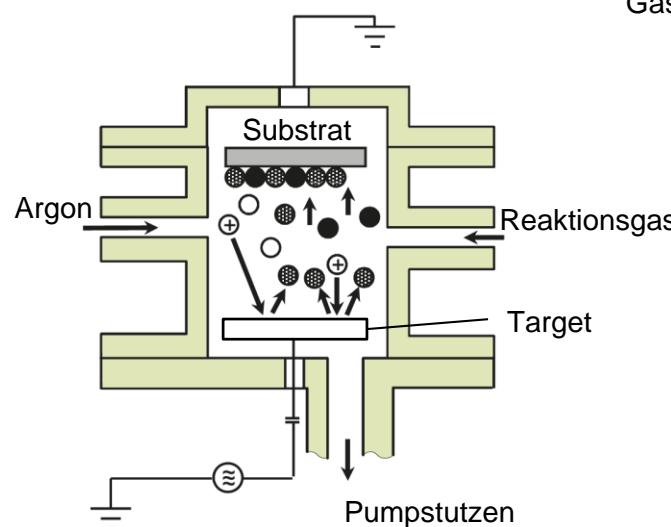
# Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand

## Physikalische Gasabscheidung

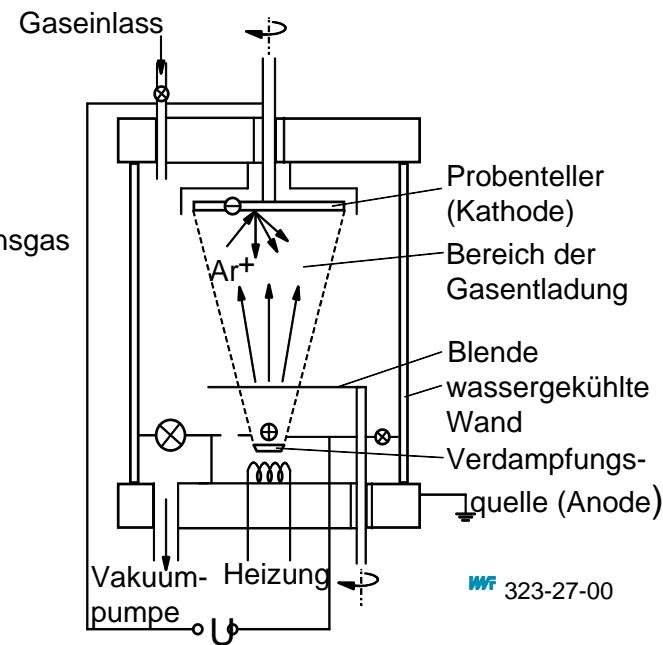
Aufdampfen



Kathodenzerstäuben (Sputtern)



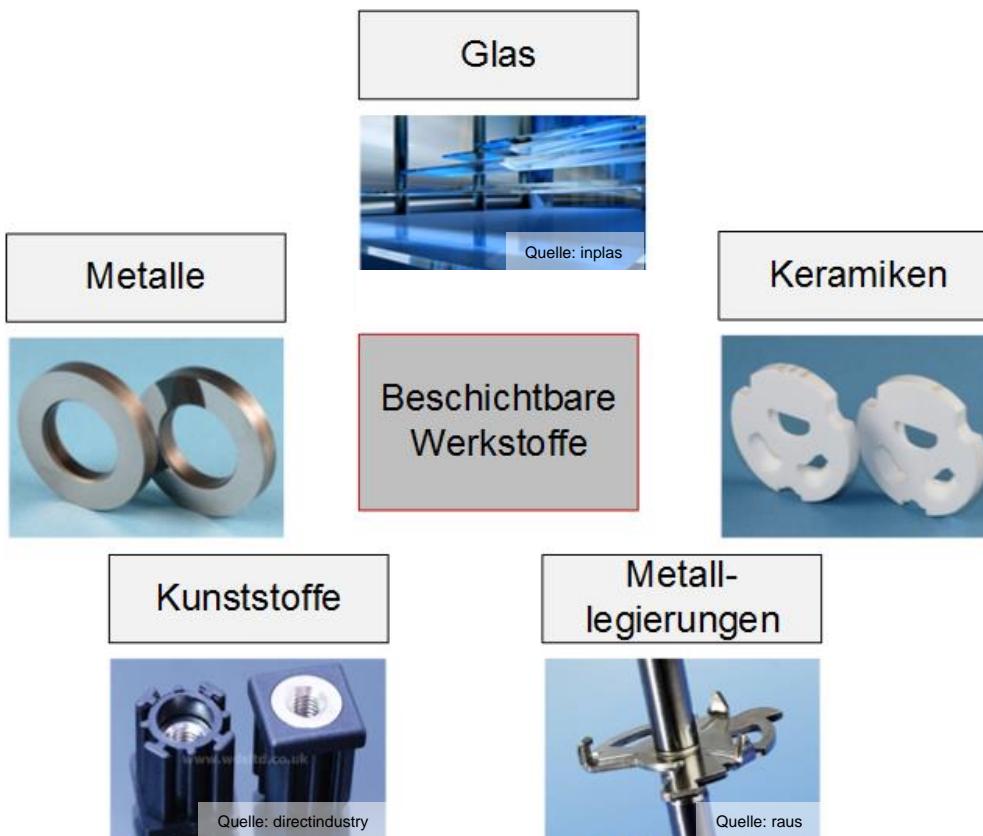
Ionenplattieren



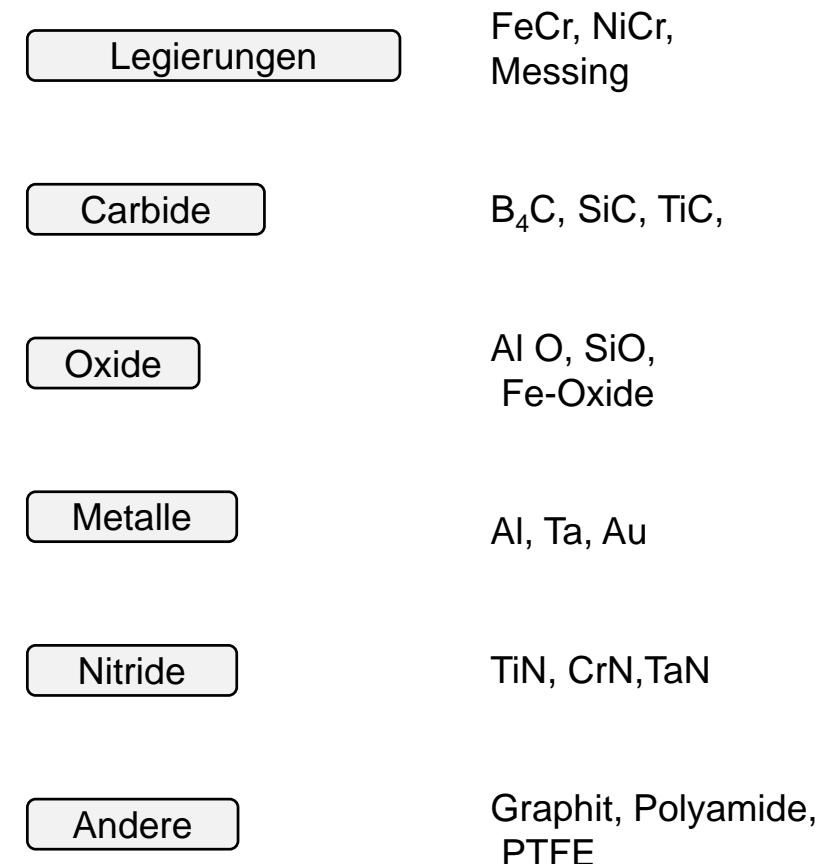
# PVD

## Beschichtbare Werkstoffe und Beschichtungswerkstoffe

### BESCHICHTBARE WERKSTOFFE



### BESCHICHTUNGWERKSTOFFE

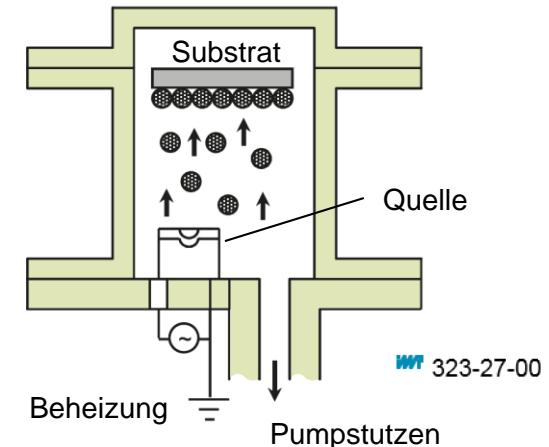


### Verfahren

- Metalle oder Verbindungen werden im Vakuum durch Erhitzen verdampft (Temperaturen bis 1400°C).
- Mittlere freie Weglänge der verdampften Moleküle ist so groß (einige Meter), dass diese direkt zum Werkstück (Substrat) gelangen
- Verdampfte Moleküle kondensieren auf kaltem Werkstück zur Aufdampfschicht

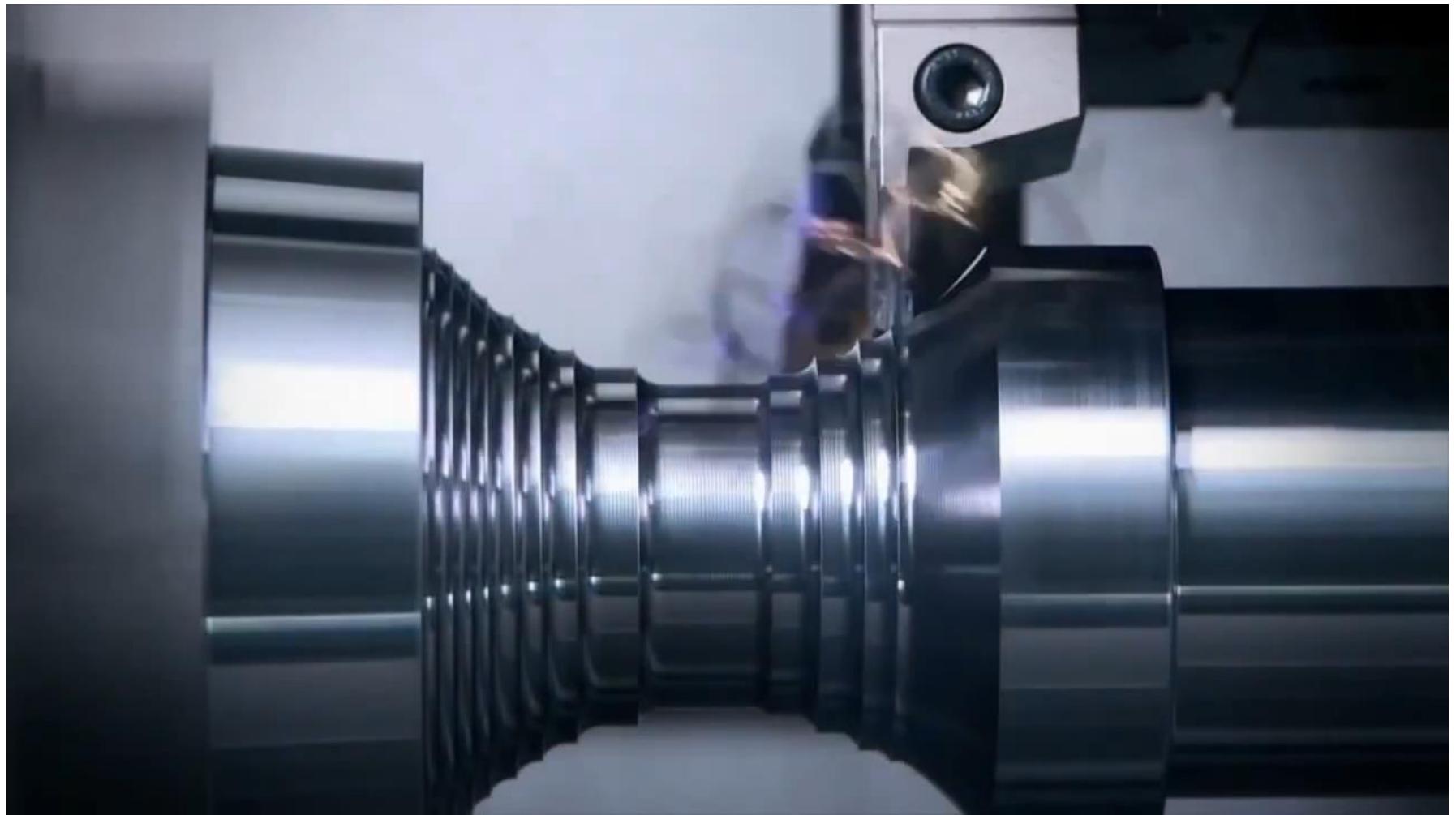
### Charakteristik

- hohe Abscheideraten (0,05 bis 25 µm/s)
- Haftfestigkeit gering
- schlechte Streufähigkeit
- Vakuum  $10^{-3}$  bis  $10^{-8}$  Pa (Hochvakuum)
- Beschichtungswerkstoffe; reine Metalle, Metalllegierungen, Oxide, Fluoride



# Video

## Beschichtung metallischer Werkstoff

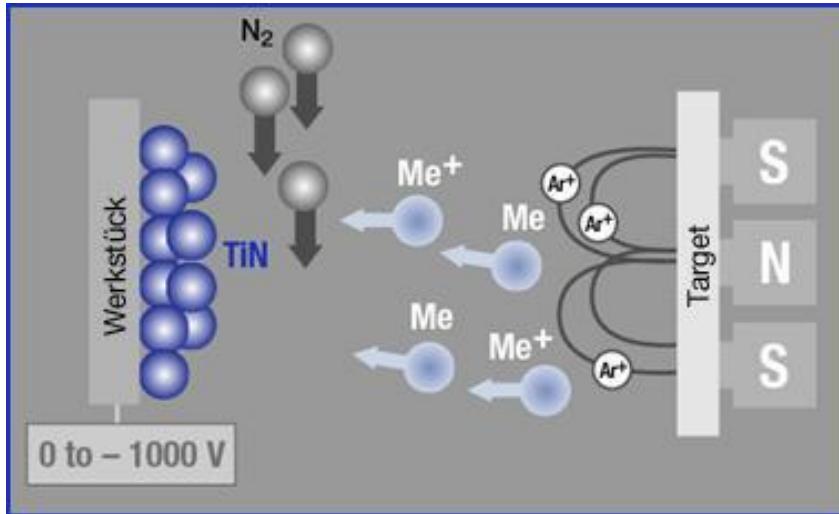


# PVD

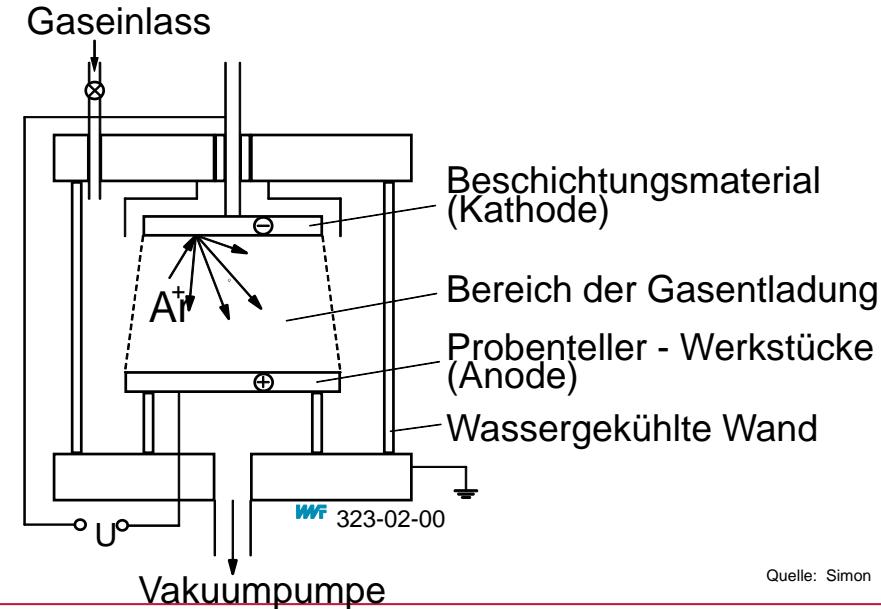
## Aufspputtern

### Verfahren

- Anlegen einer Hochspannung zwischen Werkstück (Anode) und Beschichtungsmaterial/Target (Kathode)
- Elektrisches Feld erzeugt in Argon-Atmosphäre ein Plasma mit Ar+- Ionen und beschleunigt diese auf das Beschichtungsmaterial
- Impuls stäubt atomar Beschichtungsmaterial ab
- Moleküle des Beschichtungsmaterials schlagen sich als Aufstäubbeschicht auf das Werkstück nieder



Quelle: Sulzer



Quelle: Simon

# Plasma

## Begriffsklärung

### Plasma

- Gas, in dem ein Teil der Moleküle in positive Teilchen (Ionen) und negative Elektronen zerlegt ist.
- Erzeugung: Ein elektrisches Feld erzeugt eine Gasentladung, beschleunigte Ladungsträger stoßen mit neutralen Molekülen zusammen, die Moleküle werden durch Stöße in Ionen und Elektronen zerlegt.
- Plasma stellt elektrisch geladene und energetisch aktive Teilchen für den Beschichtungsprozess zur Verfügung.



Quelle: planet-wissen

# PVD

## Beladung einer Sputteranlage mit Kurbelwellen



WF 453-52-00



Technische  
Universität  
Braunschweig

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Birte Horn | Fertigungstechnik  
18. Juni 2018 | Folie 24

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik



### Verfahren

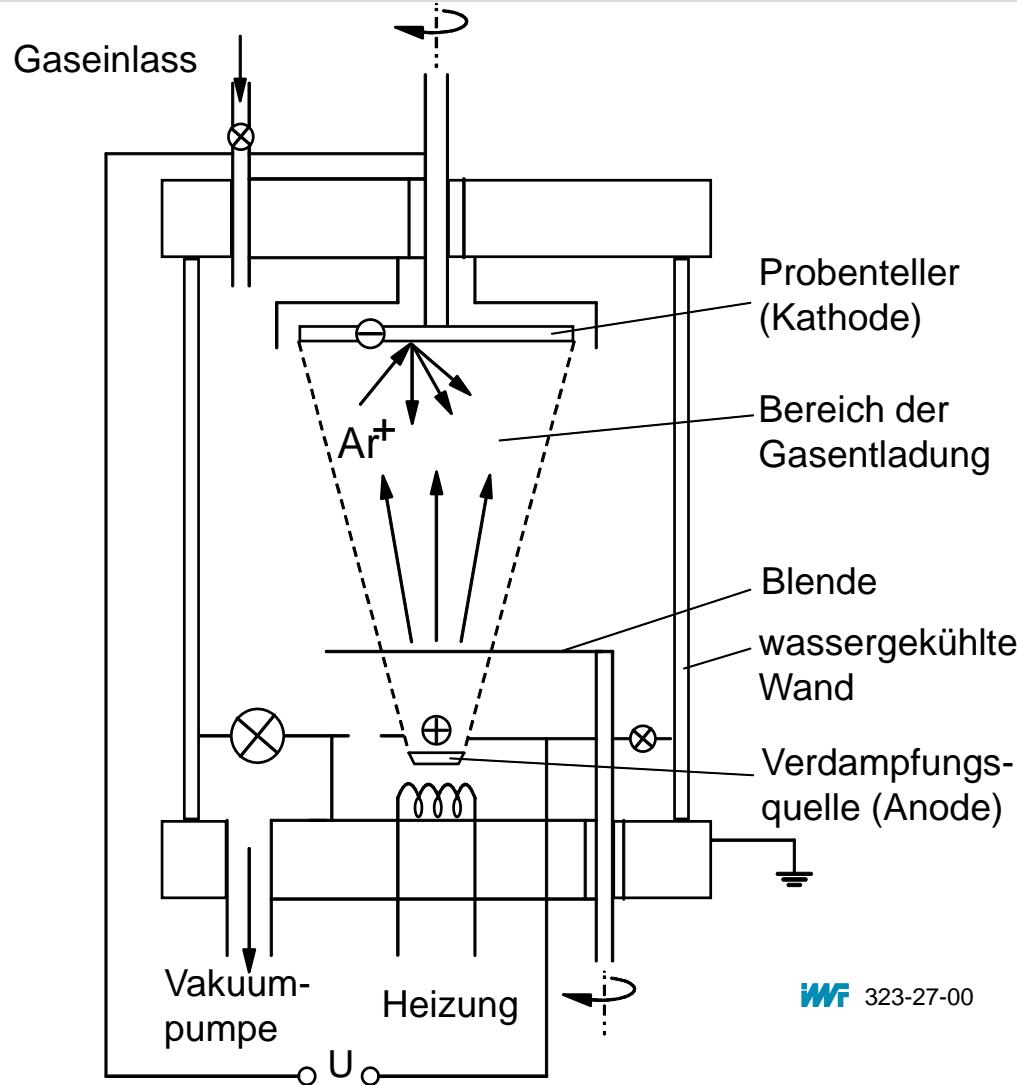
- Kombination aus Abstäuben des Werkstücks zur Reinigung und Verdampfung von Beschichtungsmaterial zum Schichtabscheiden.
- Anlegen einer Hochspannung zwischen Werkstück (Kathode) und Verdampfungsquelle (Anode).
- Elektrisches Feld erzeugt in Argon-Atmosphäre ein Plasma mit Ar<sup>+</sup>-Ionen und beschleunigt sie auf das Werkstück.
- Durch den Impuls werden Fremdschichten abgestäubt, die Werkstückoberfläche wird gereinigt und aktiviert.
- Gleichzeitig wird Beschichtungsmaterial durch Erhitzung verdampft.
- Verdampfte Moleküle kondensieren auf kaltem Werkstück zur Ionenplattierschicht.

### Charakteristik

- hohe Abscheideraten (0,01 bis 25 µm/s)
- sehr gute Haftfestigkeit
- mittlere Streufähigkeit
- Vakuum 0,1 bis 1Pa (Hochvakuum)
- Beschichtungswerkstoffe: Reine Metalle, Metallegierungen, Oxide, Hartstoffe, Gleitstoffe

# PVD

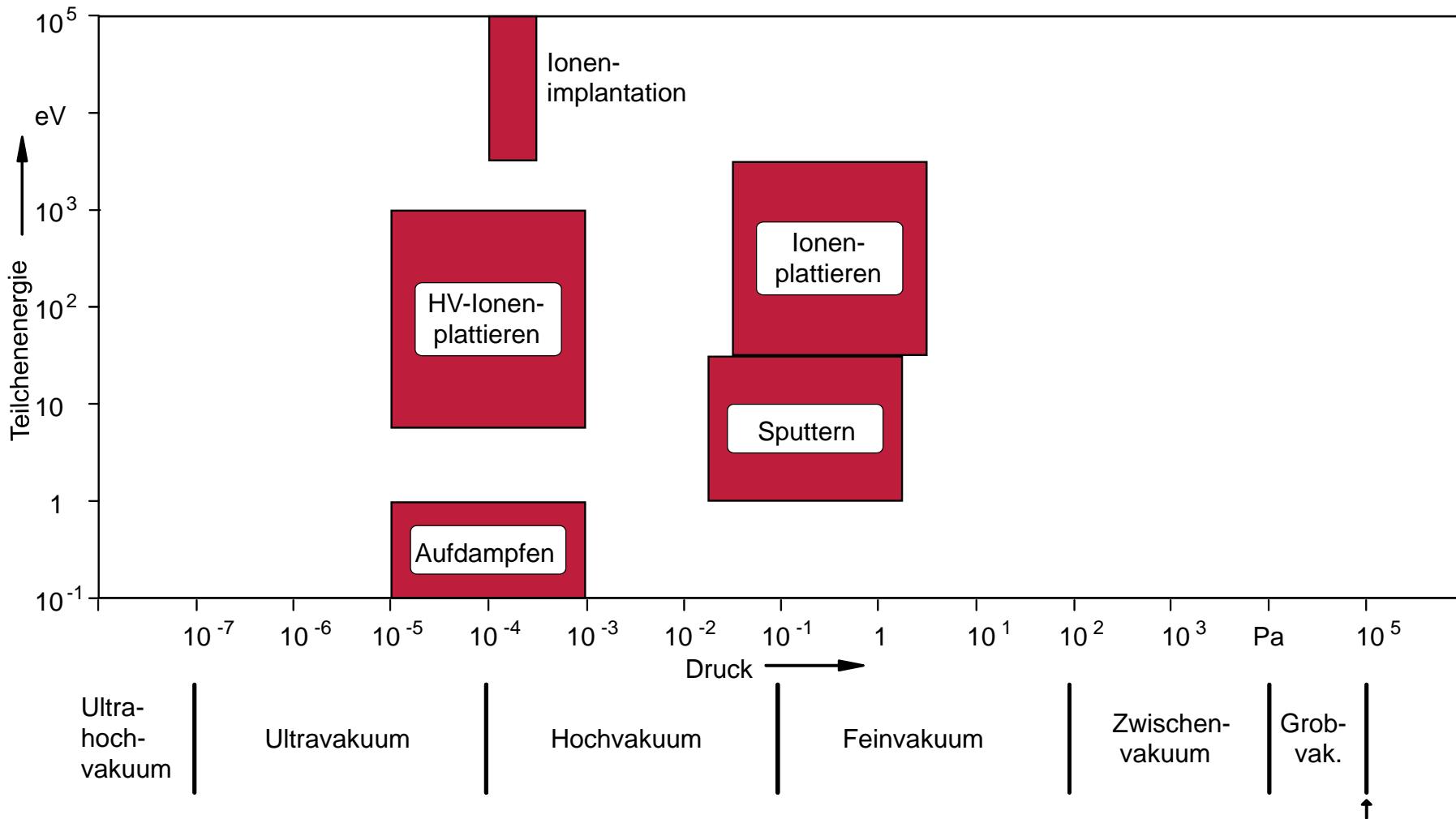
## Ionenplattieren



Quelle: Simon

# PVD

## Verfahrenseinordnung



Quelle: FhG-IST

# Schaustück:



Kolbenstange mit gesputterter Kohlenstoffschicht



Kugeln für Kugellager mit gesputterter MoS<sub>2</sub>-Schicht

# Schaustück:



Passschraube mit gesputterter Kohlenstoffschicht

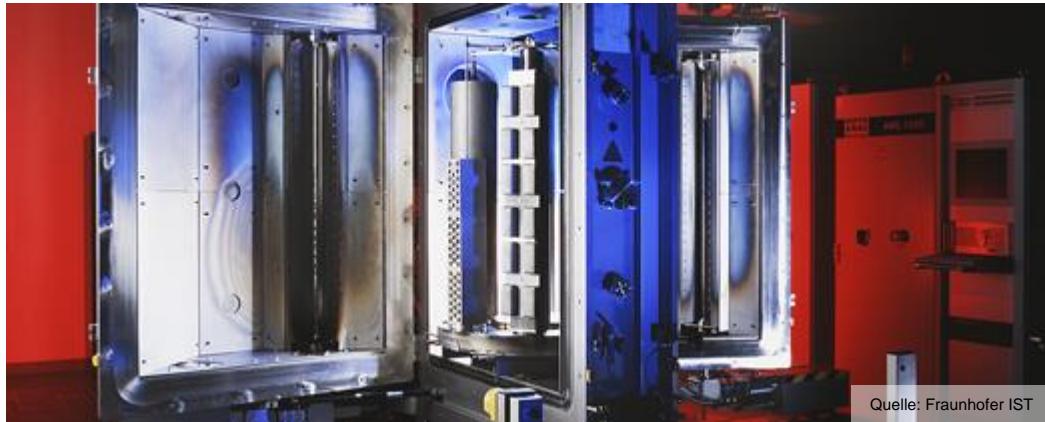


Lagerbuchse mit gesputterter Kohlenstoffschicht

# Beschichten

## CVD = Chemical Vapour Deposition

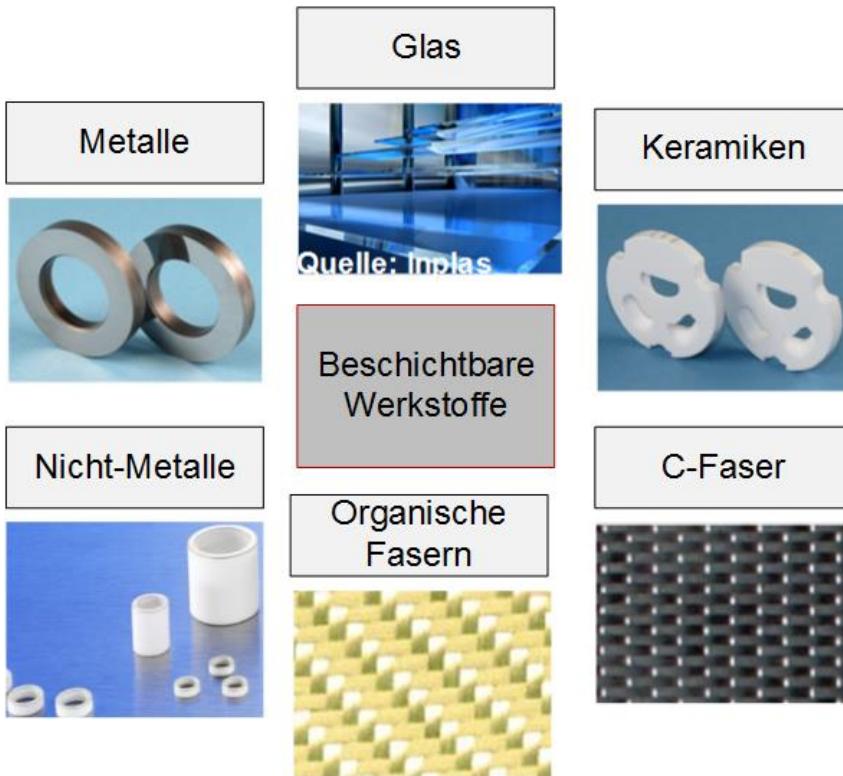
- Abzuscheidender Stoff liegt in gasförmiger Verbindung vor.
- Schichtdicken 0,1 bis 20 µm
- Verfahren:
  - CVD (heißdraht- oder flammaktiviert)
  - Plasma-CVD



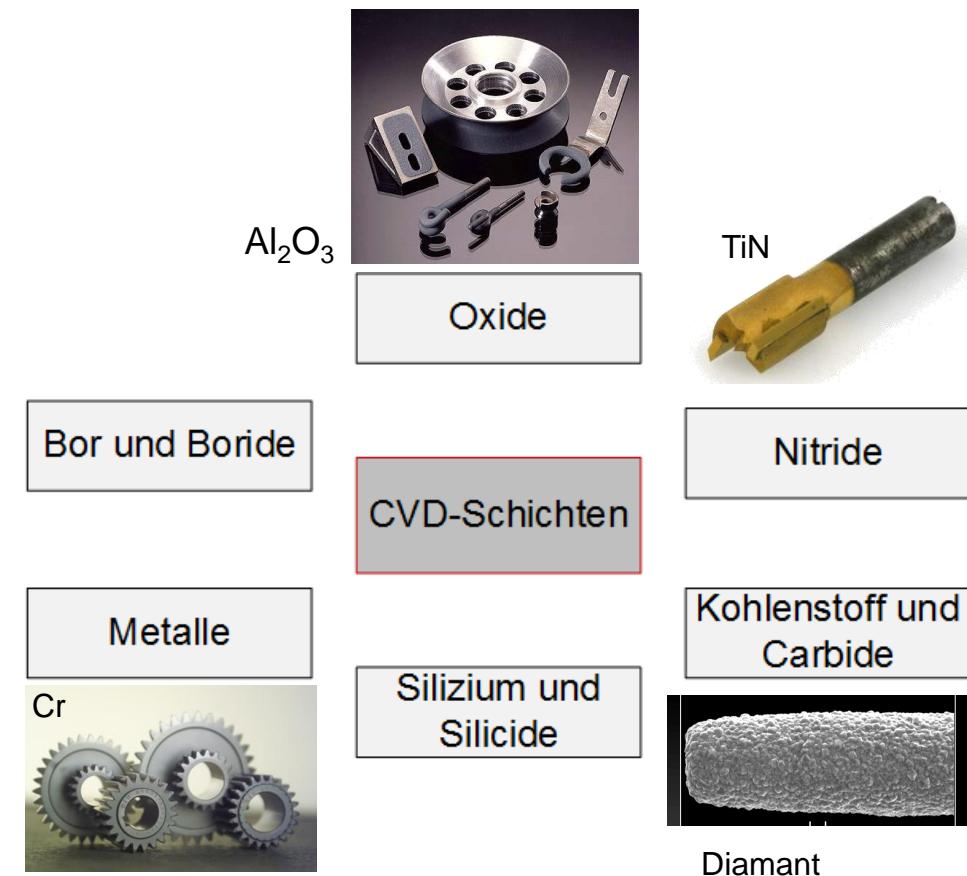
# CVD

## Beschichtbare Werkstoffe und Beschichtungswerkstoffe

### BESCHICHTBARE WERKSTOFFE

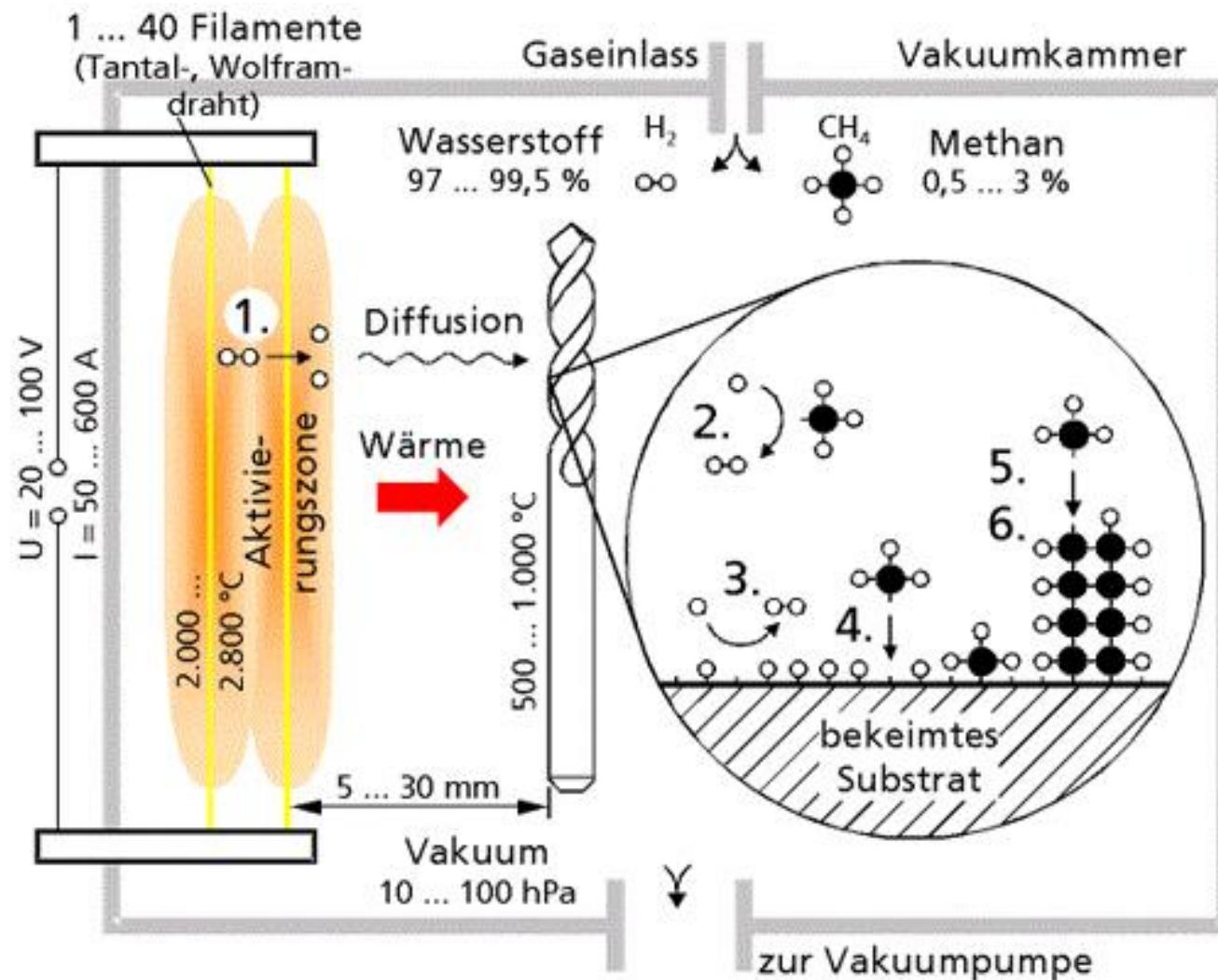


### BESCHICHTUNGWERKSTOFFE



# CVD

## Diamantabscheidung mittels heißdrahtaktivierter CVD

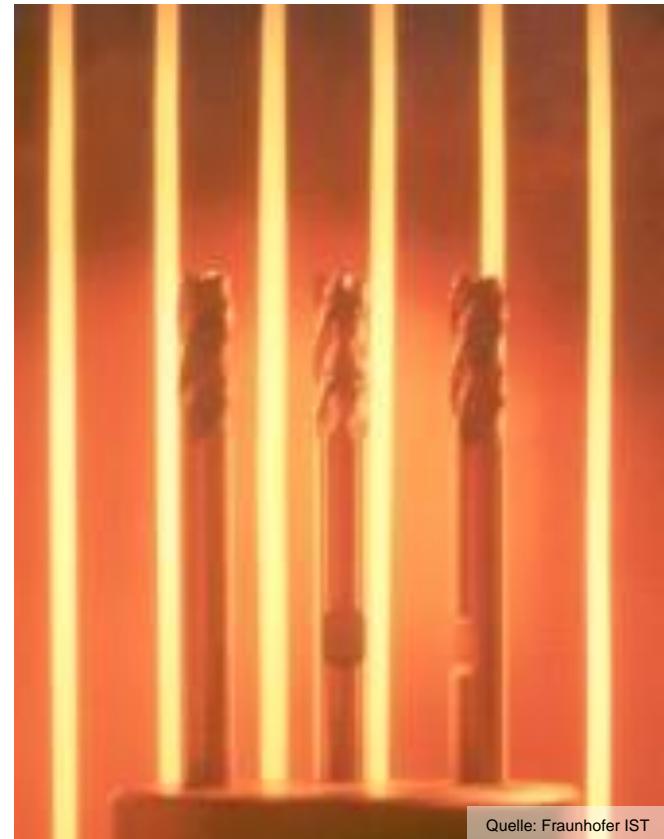


Quelle: Fraunhofer IST



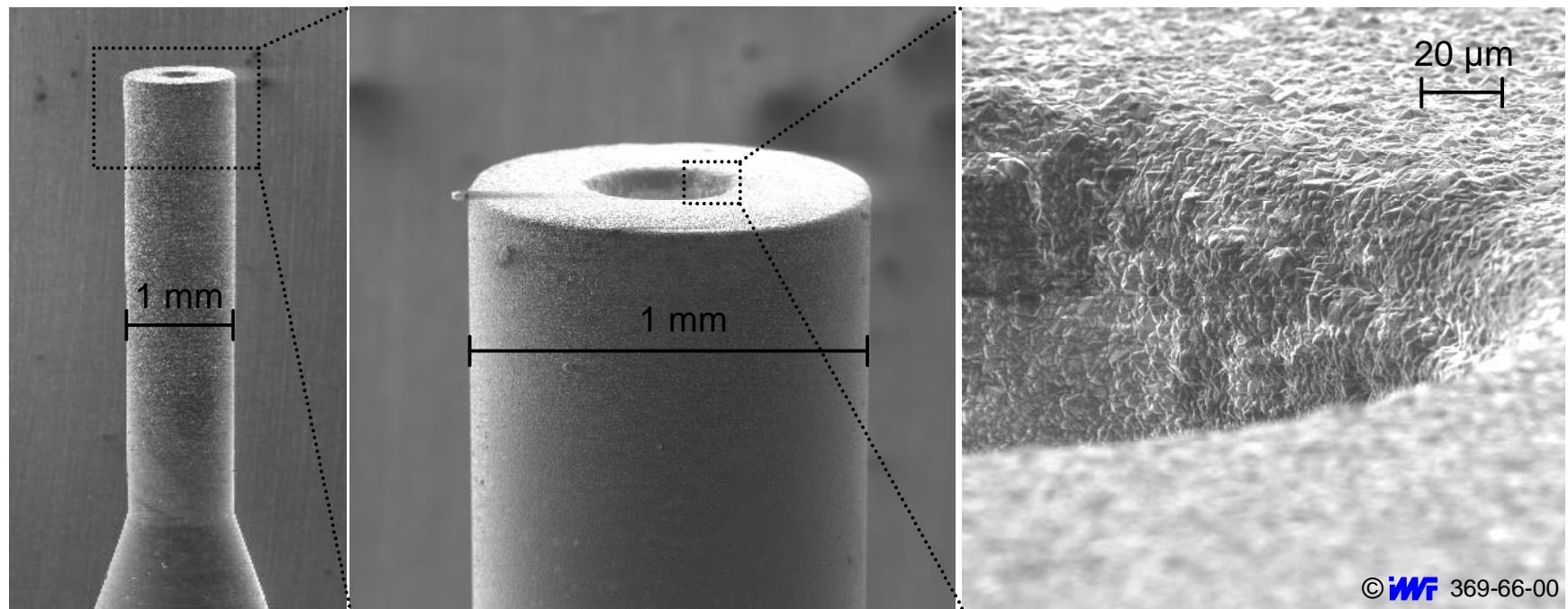
# CVD

## Diamantabscheidung mittels heißdrahtaktivierter CVD



# CVD

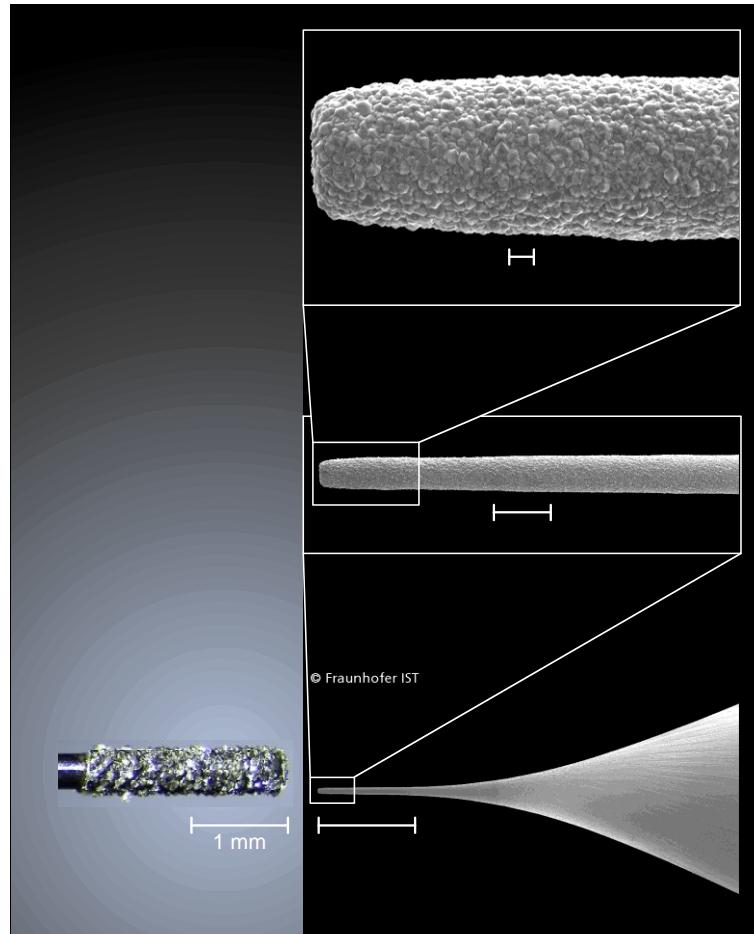
## Diamantabscheidung mittels heißdrahtaktivierter CVD



Mikro-Hohlschleifstift

# CVD

## Diamantabscheidung mittels heißdrahtaktivierter CVD

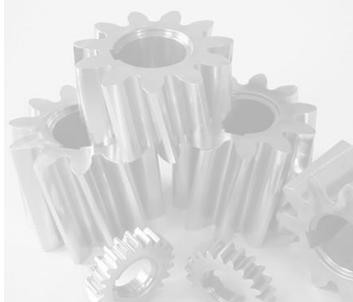
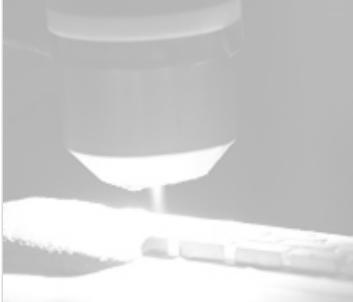


Links: galvanisch beschichteter Schleifstift ( $\varnothing$  0,5mm)  
Rechts: Schleifstift mit CVD-Diamant ( $\varnothing$  60  $\mu\text{m}$ )

# Einteilung elementarer Beschichtungsverfahren

## Ausgewählte Beschichtungsgruppen nach DIN 8580

### Einteilung der Beschichtungsverfahren nach DIN 8580

Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Beschichten aus dem flüssigen oder pastenförmigen Zustand	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	Beschichten aus dem festen Zustand	Sonstige (vgl. Skript)
 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: motorload	 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: proweld	 Quelle: zergiebel-schweißtechnik

**Beschichten** ist Fertigen durch Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück.

# Beschichten

## Lackieren

- Abzuscheidender Stoff liegt in flüssiger Form vor.
- Lack = Filmbildner, Farbmittel, Hilfsstoffe, Lösemittel
- Einteilung der Lacksysteme nach Zusammensetzung oder Beschaffenheit oder Auftragsverfahren oder Filmbildung, Glanzgrad, Effekt, Anwendung, zu beschichtendem Objekt...



Quelle: auto-polieren

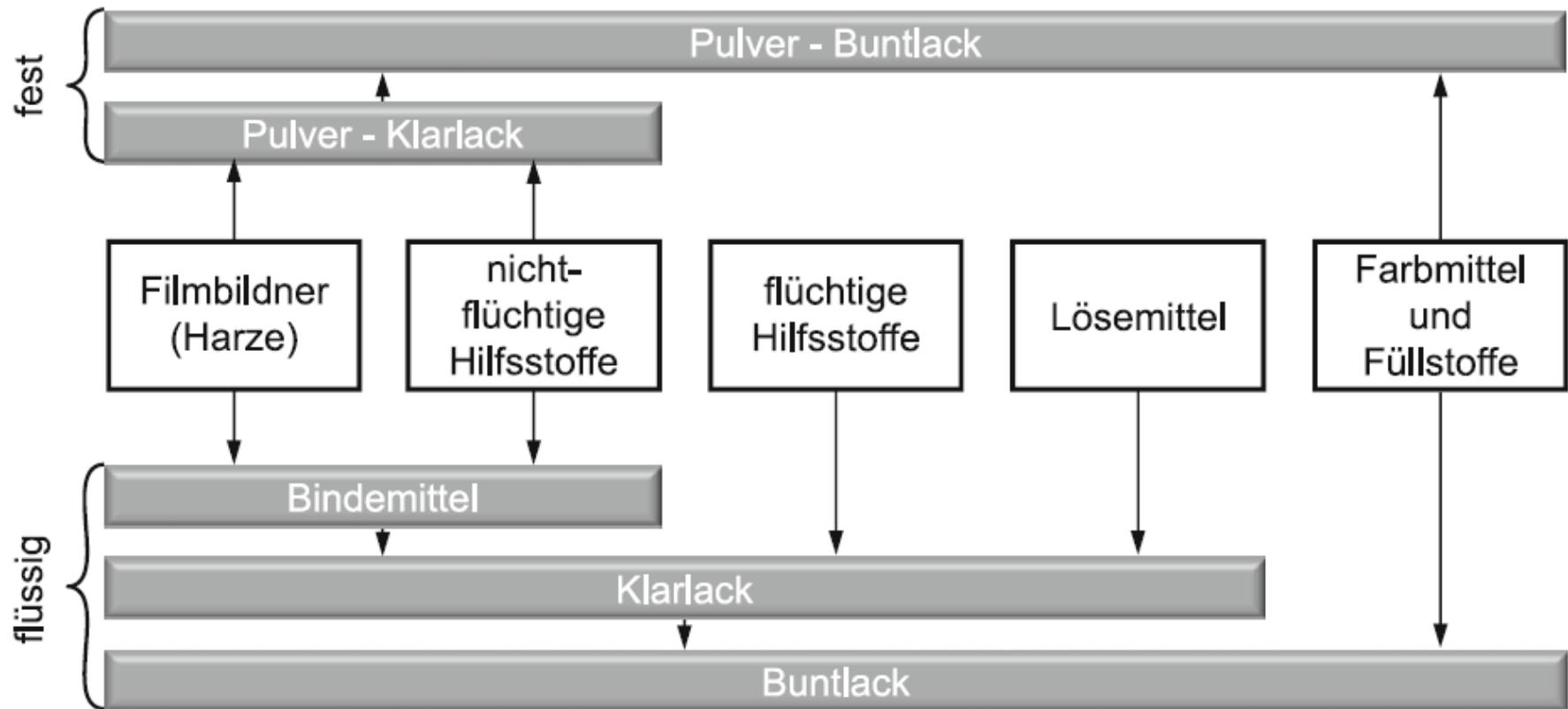
# Video

## Lackieren Autokarosserie



# Beschichten

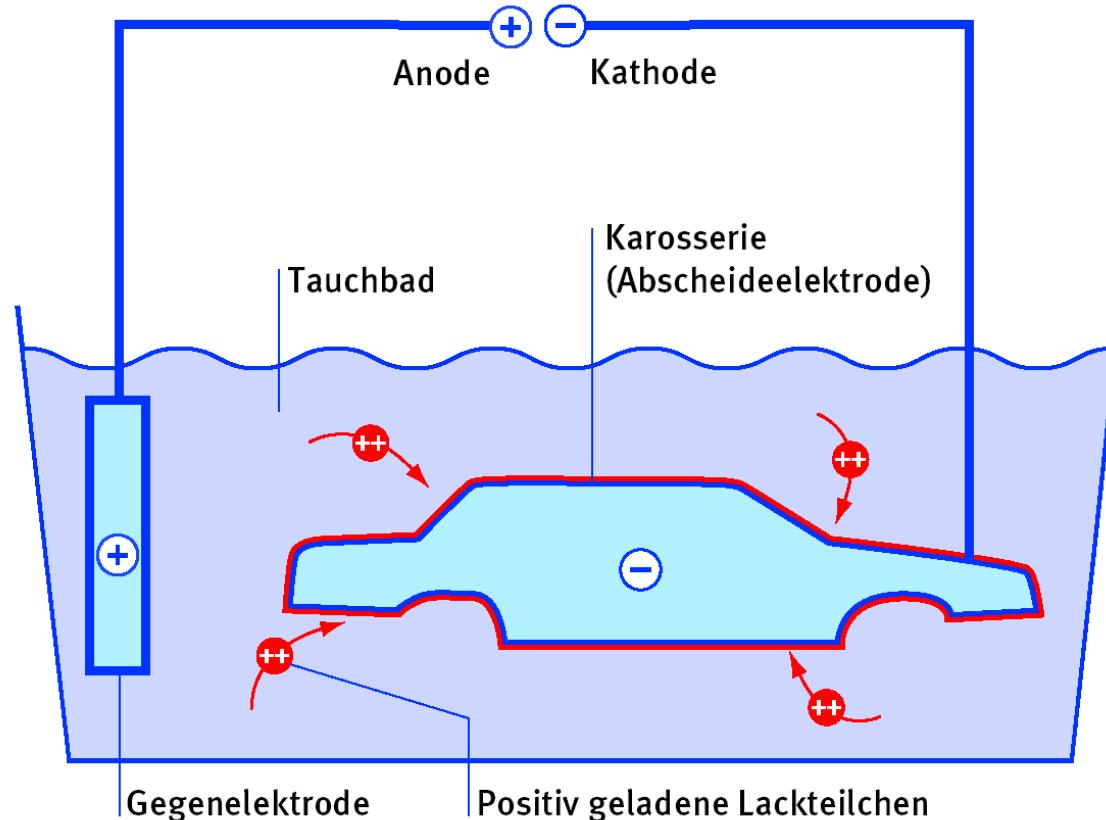
## Zusammensetzung von Lacken



Quelle: Westkämper, Warnecke

# Lackieren

## Schematische Darstellung: Kathodische Tauchlackierung



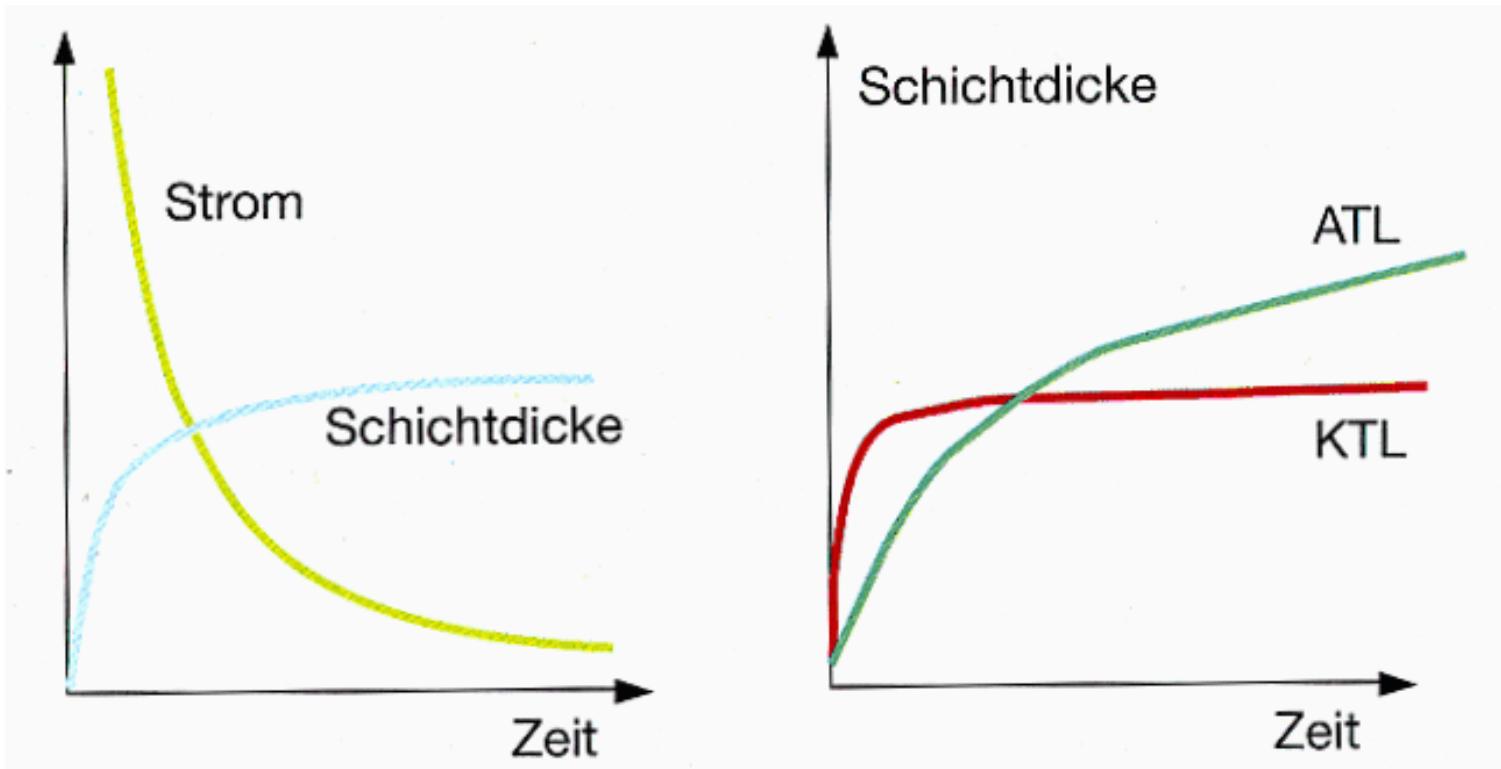
# Video KTL



# Lackieren

## Kathodische Tauchlackierung

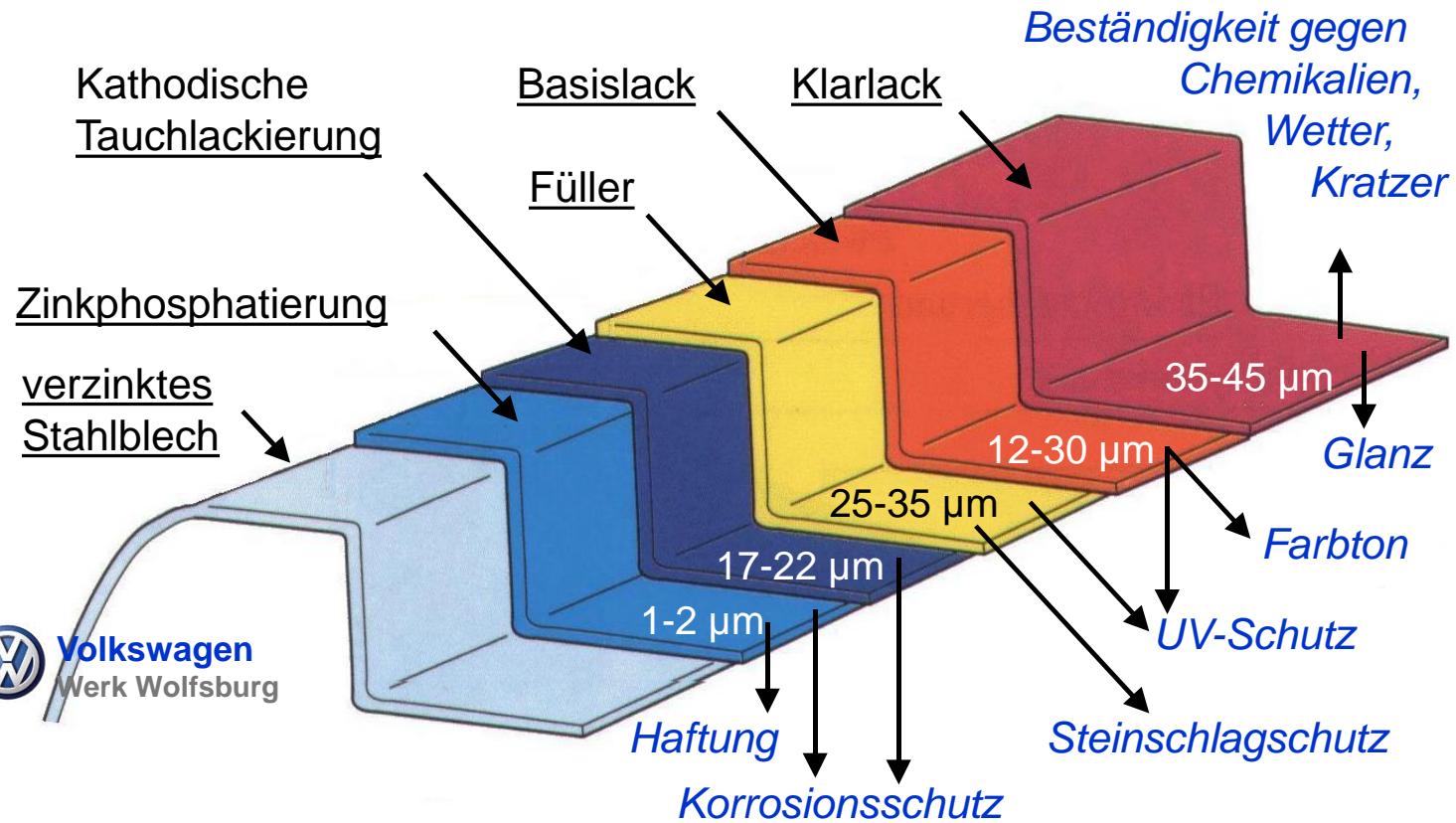
### Strom-Zeit- und Schichtdicke-Zeit-Kurven



→ Besonders mit dem KTL-Prozess lassen sich auch auf komplex geformten Objekten sehr gleichmäßige Schichtdicken erreichen, es gibt einen sehr guten „Umgriff“

# Lackieren

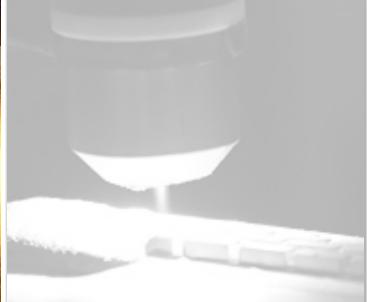
## Lackaufbau PKW



# Einteilung elementarer Beschichtungsverfahren

## Ausgewählte Beschichtungsgruppen nach DIN 8580

### Einteilung der Beschichtungsverfahren nach DIN 8580

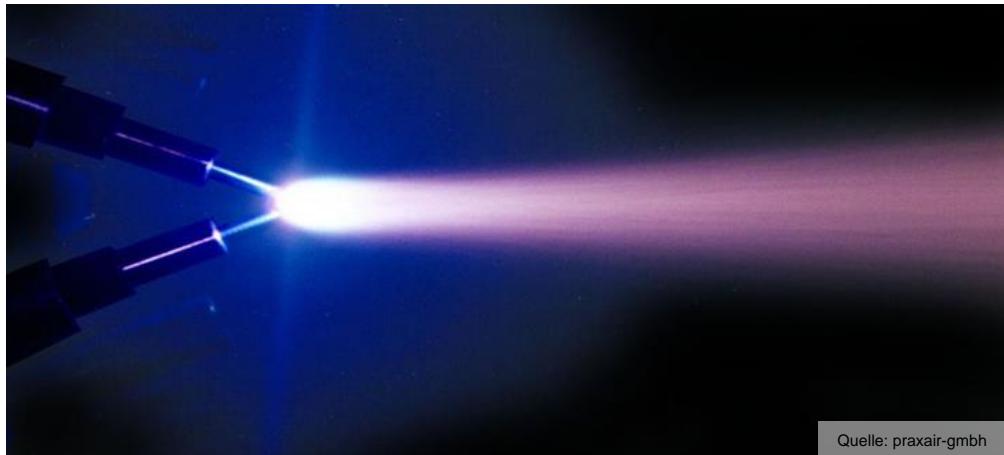
Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Beschichten aus dem flüssigen oder pastenförmigen Zustand	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	Beschichten aus dem festen Zustand	Sonstige (vgl. Skript)
 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: motorload	 Quelle: impreglon-luebeck	 Quelle: proweld	 Quelle: zergiebel-schweißtechnik

**Beschichten** ist Fertigen durch Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück.

# Beschichten

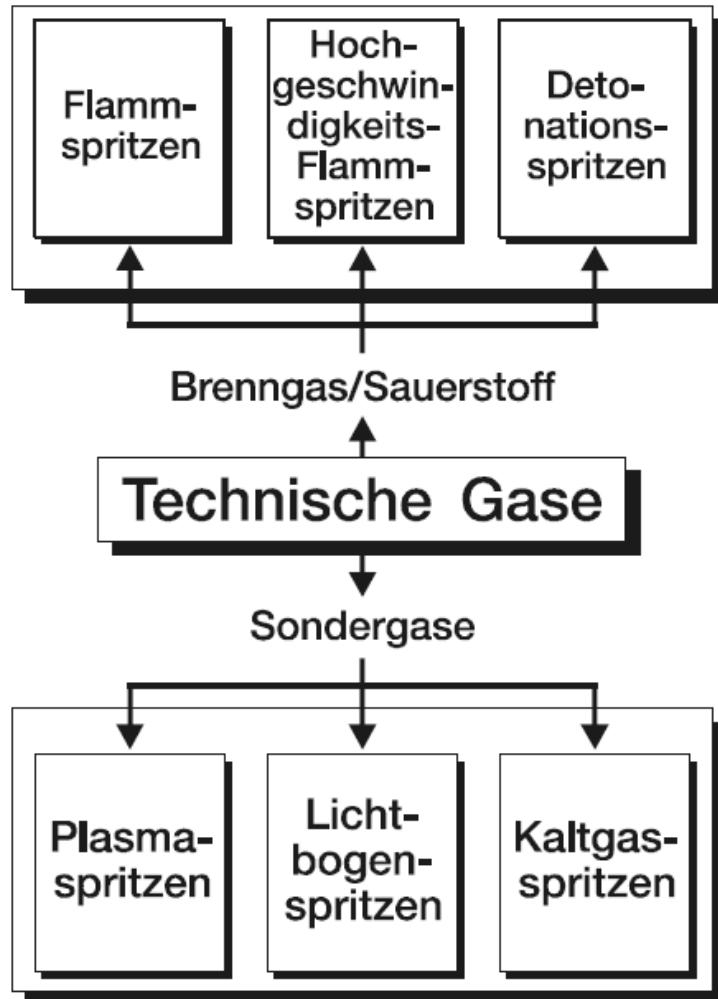
## Thermisches Spritzen

- DIN EN 657: Unterteilung nach Art des Spritzzusatzwerkstoffs, der Art der Fertigung oder der Art des Energieträgers
- Erzeugung der Spritzschichten durch thermische und kinetische Energie
- Kriterien einer Spritzschicht: Dichte der Schicht, Haftzugfestigkeit in sich und zum Substrat



# Beschichten

## Thermisches Spritzen



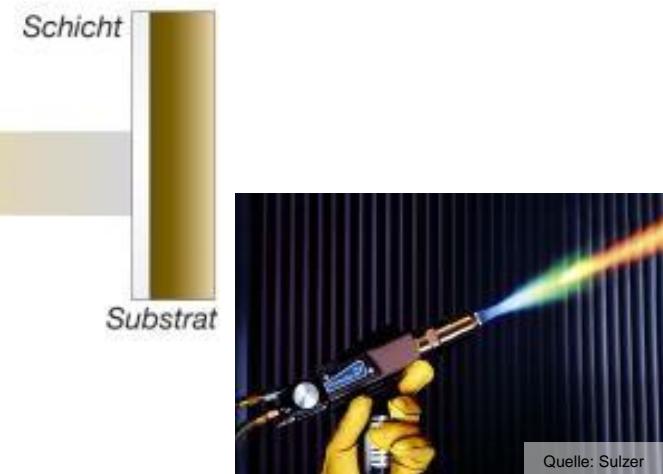
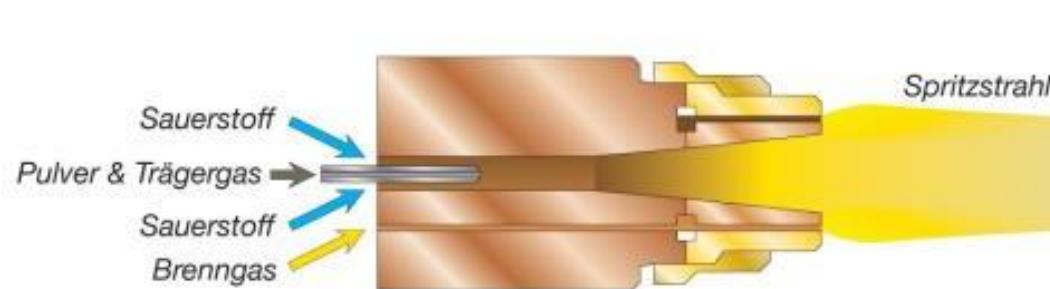
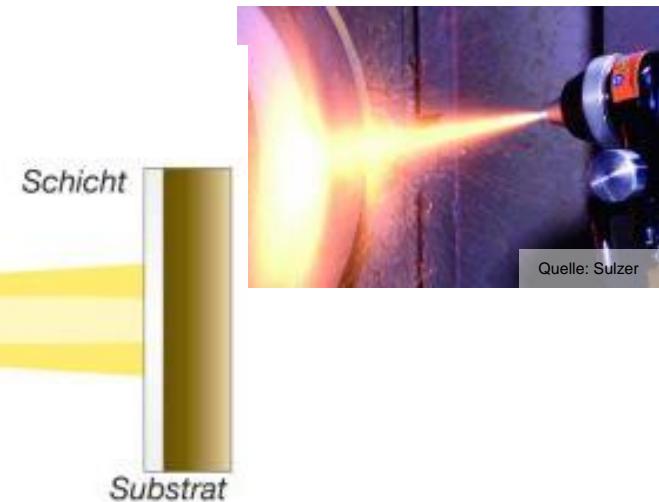
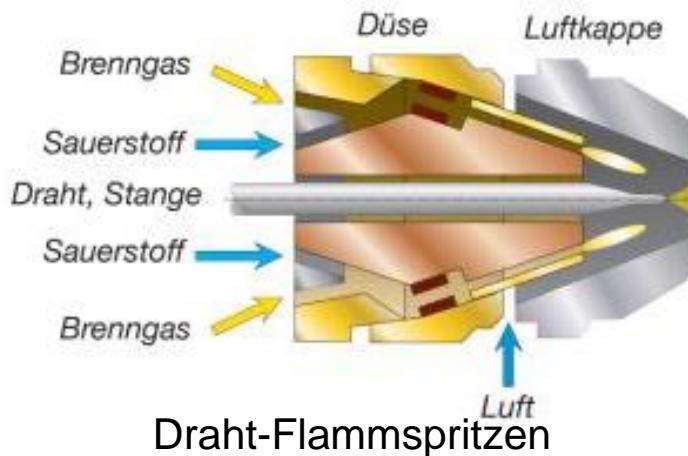
Flammspritzen	Plamaspritzen	Lichtbogenspritzen
Konventionelles Flammspritzen	Atmosphärisches Plamaspritzen (APS)	Lichtbogendraht spritzen (LDS)
Hochgeschwindig keits-Flammspritzen (HVOF)	Plasma Transwire Arc (PTWA)	
Detonationsspritzen (D-GUN)	Hochleistung-Plamaspritzen (HPPS)	
	Reaktives Plamaspritzen	
	Hochdruck-Plamaspritzen	

Quelle: Fahrenwaldt



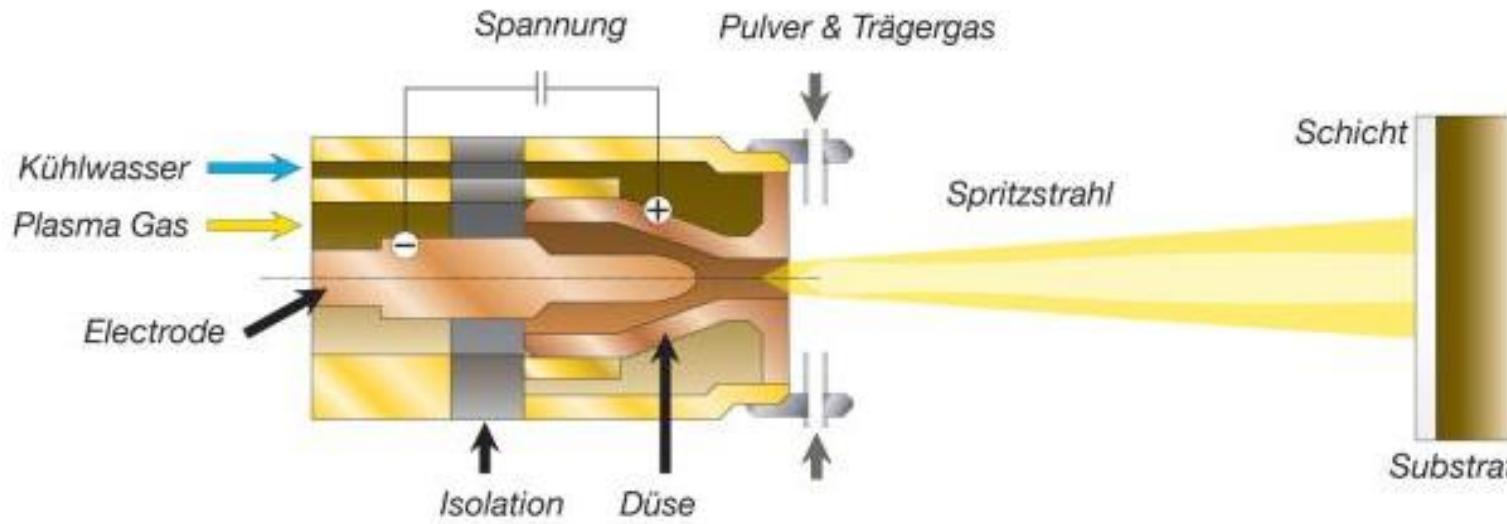
# Thermisches Spritzen

## Flammspritzen (HVOF)



# Thermisches Spritzen

## Plamaspritzen (APS, PTWA)



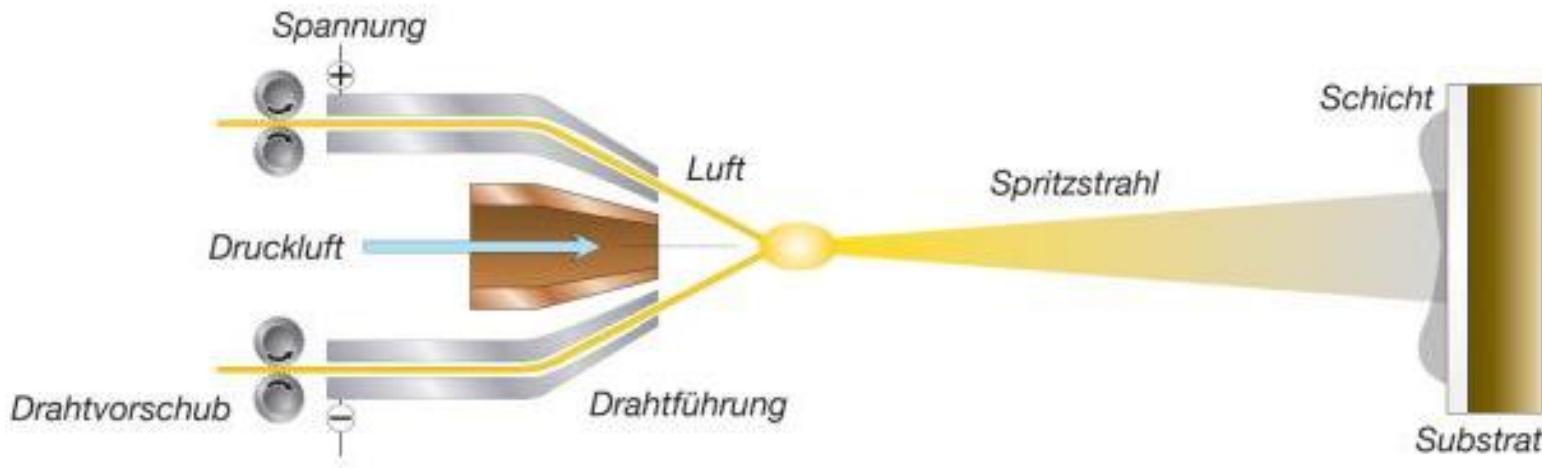
Plamaspritzen



Quelle: Sulzer

# Thermisches Spritzen

## Lichtbogendrahtspritzen LDS



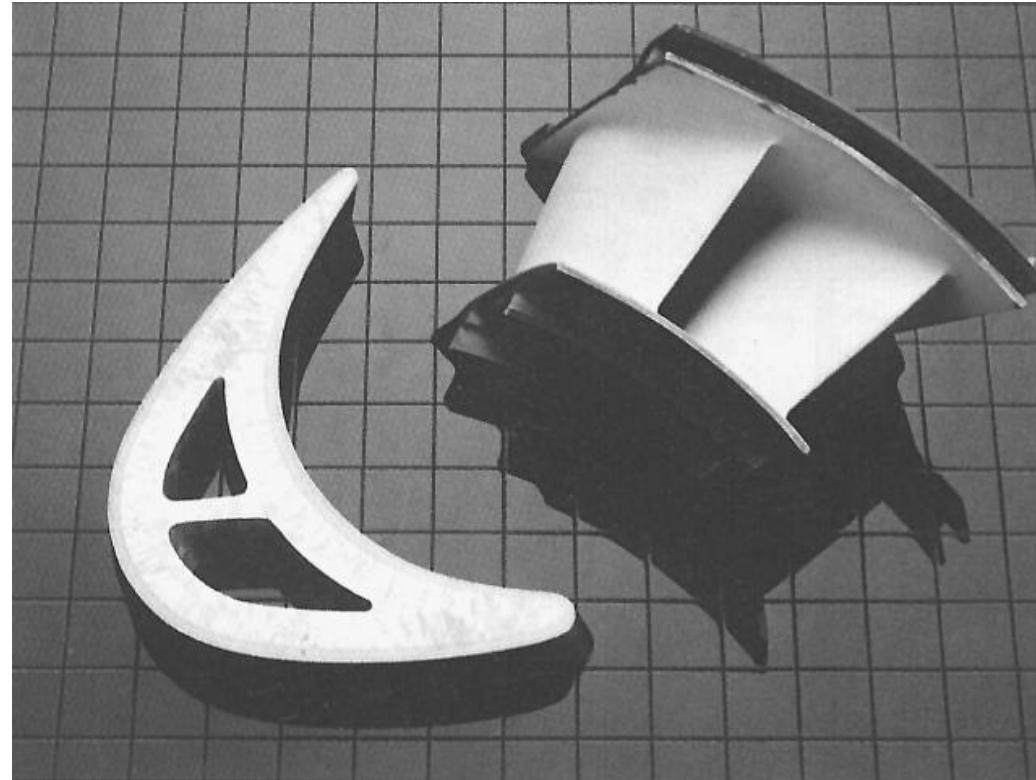
Lichtbogendrahtspritzen



Quelle: Sulzer

# Beschichten

## Thermisches Spritzen

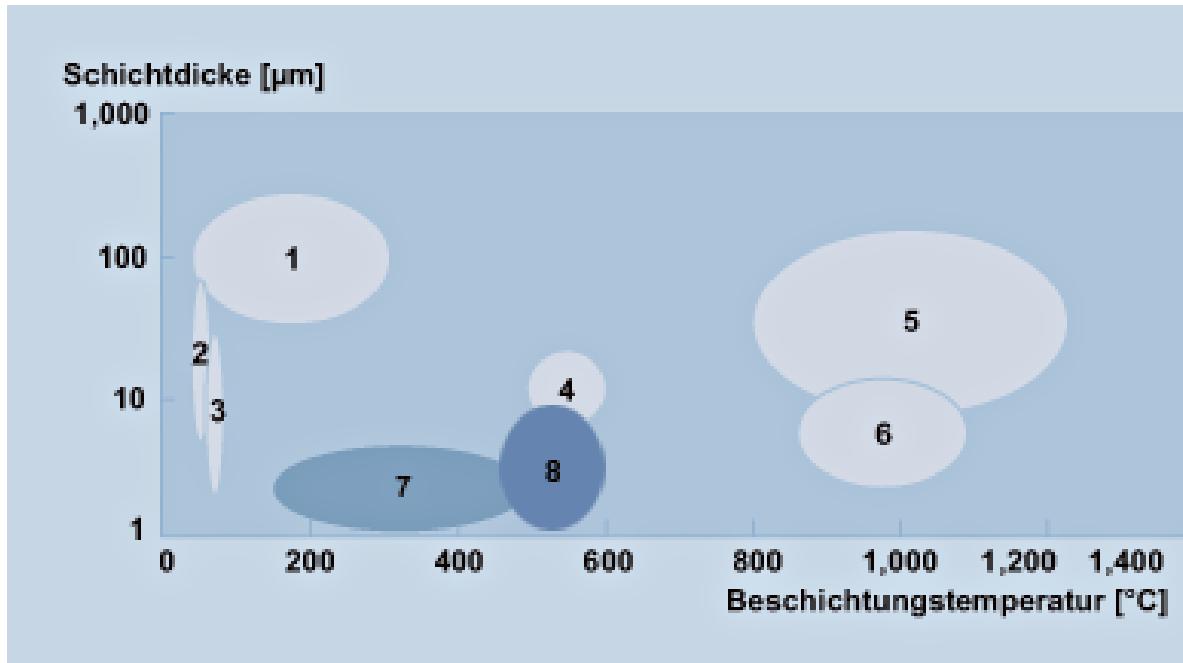


Hochtemperatur-  
Korrosionsschicht  
LPPS  
(low pressure plasma spray)  
MCrAlY-Schicht

**WF** 323-37-00

### Plasmagespritzte Gasturbinenschaufel

# Vergleich von Beschichtungstechnologien



1 = Plasmaspritzen

WF 453-09-00

2 = Galvanik

3 = Phosphatieren

4 = Nitrieren (Verbindungsschicht)

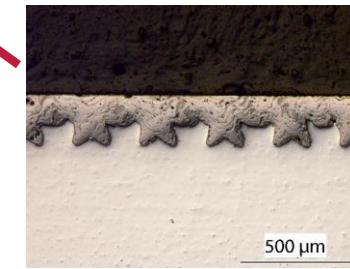
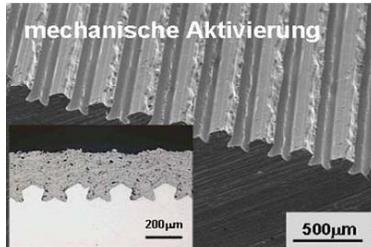
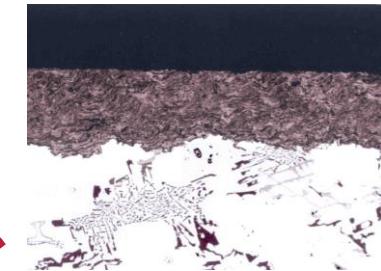
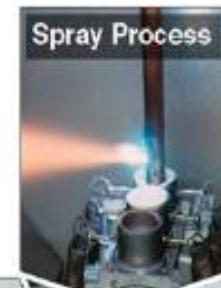
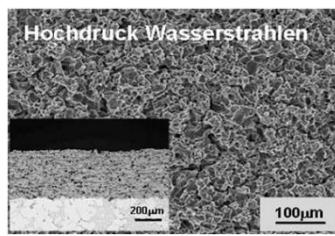
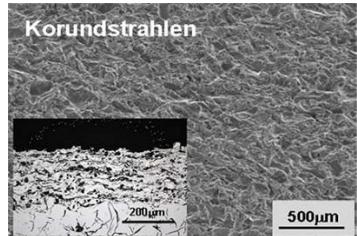
5 = Borieren

6 = CVD

7 = PVD und PACVD (Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition)

# Beschichten

## Spray-Bore-Beschichten und Honen von Zylinderbohrungen

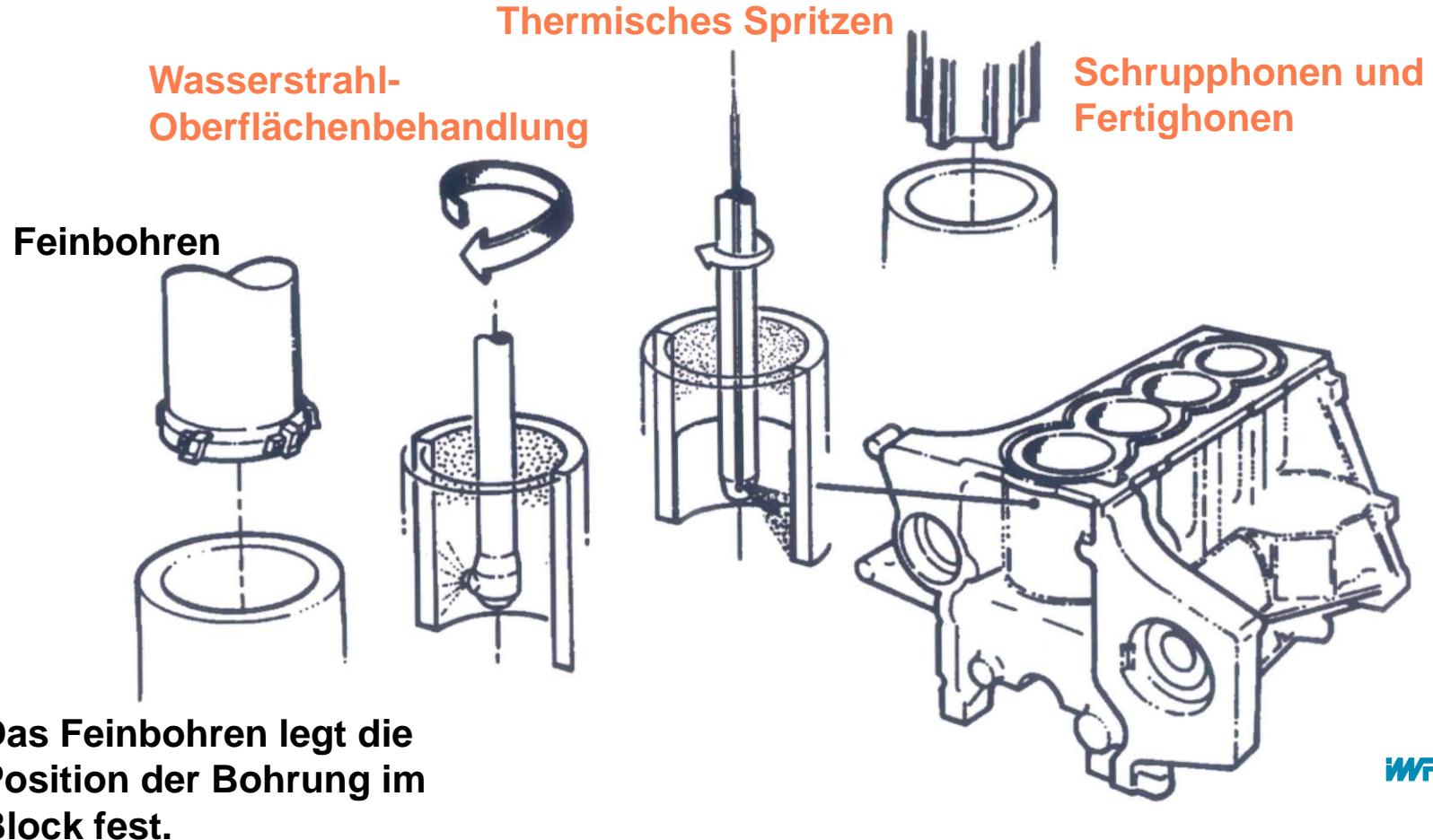


Quelle: Gyoerer Tribologie Tagung

# Beschichten

## Spray-Bore-Beschichten und Honen von Zylinderbohrungen

### Prozess-Ablauf und Operationen



**Das Feinbohren legt die Position der Bohrung im Block fest.**

**WF** 453-10-00

Quelle: Gehring Technologie-Zentrum

# Beschichten

## Spray-Bore-Beschichten und Honen von Zylinderbohrungen

Anwender	Ford	DaimlerChrysler	GM / Gehring
Beschichten	<b>PTWA</b> Plasma-Lichtbogen zwischen Draht und Kathode (Plasma Transfer Wire Arc)	<b>LDS</b> Lichtbogen zwischen 2 Drähten (Lichtbogen-Draht-Spritzen)	<b>HVOF</b> Gasbrenner mit innerer Drahtzufuhr (High Velocity Oxigen Fuel)
Gase	Plasmagas: Argon (Ar) oder Wasserstoff ( $H_2$ ) Transportgas: Luft	Transportgas: Luft	Brenngas:
Haftfestigkeit	35 MPa		25 – 40 MPa
Porosität	1 – 2 %	5 – 9 %	1 %
E-Modul	nicht gemessen	100 – 120 GPa	100 GPa
Härte	190 - 440 HV		220 – 380 HV
Beschichtungszeit	72 s / Bohrung	30 – 45 s / Bohrung	< 60 s / Bohrung
Reihenfolge	Feinbohren  Waschen + Trocknen  Flussmittel auftragen + Trocknen  Ni / Bz-Beschichten  PTWA- Beschichten  Honen	Feinbohren  Wasserstrahlen  LDS-Beschichten  Honen	Feinbohren  Wasserstrahlen  HVOF-Beschichten  Honen

# Denkanstöße

## Vertiefung

1. Welche Schritte müssen durchgeführt werden, um eine Oberfläche auf eine Beschichtung vorzubereiten?
2. Was ist PVD und CVD? Nennen Sie den wesentlichen Unterschied!
3. Beschreiben Sie das PVD-Verfahren Ionenplattieren!
4. Nennen Sie drei mögliche CVD-Schichten und jeweils eine Anwendung!
5. Skizzieren Sie eine Spritzpistole zum Pulver-Flammspritzen!
6. Was versteht man unter LDS und welches Transportgas wird eingesetzt?

Formulieren Sie eine **geeignete Klausuraufgabe** zu den Inhalten des heutigen Themas der Vorlesung und posten Sie diese im StudIP.

Etwa 30 % der von Ihnen formulierten Fragen werden in der Klausur verwendet!



Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **iWF**



# Vorlesung Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder 18. Juni 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik