

# **Anlage zur Prallbeschichtung**

**MST- Workshop**

**Köln 16.5. 4. 2001**

**Georg Koppenwallner**

<b>Prinzip und Vorteile der Prallbeschichtung. ( Cold Gas-Dynamic Coating)</b>	<b>2</b>
<b>Historischer Rückblick</b>	<b>3</b>
<b>Historie der Entwicklungsarbeiten in Deutschland.</b>	<b>4</b>
<b>Die gasdynamische Beschleunigung des Pulvers.</b>	<b>5</b>
<b>Die Vor- und Nachteile von Über-bzw Unterschallbeschleunigung</b>	<b>7</b>
<b>Beschichtungsmaterialien und notwendige Aufheiztemperatur des Treibgases.</b>	<b>8</b>
<b>Die Komponenten der von HTG entwickelten Anlage.</b>	<b>12</b>
<b>Einsatzbereich und spezifische Eigenschaften der Erprobungsanlage</b>	<b>14</b>

---

**HTG Hyperschall Technologie Göttingen**  
**Max Planck Strasse 19 , 37191 Katlenburg Lindau**  
**Tel. 05556 5025; FAX: 05556 1885**  
**Email: [mail@htg-hst.de](mailto:mail@htg-hst.de) Netz: <http://htg-hst.de>**

***Prinzip und Vorteile der Prallbeschichtung.  
( Cold Gas-Dynamic Coating)***

**Das Beschichtungspulver wird in einem schnellen- Gasstrahl so stark beschleunigt, daß es beim Aufprall an Oberflächen infolge seiner kinetischen Energie aufschmilzt und haften bleibt.**

**Damit bietet sich gegenüber den herkömmlichen Beschichtungsverfahren folgende Vorteile.**

- > Einfacher Betrieb im Vergleich zum Flamm- bzw. Plasmaspritzen.**
- > Kein Aufschmelzen der Partikel vor der Beschichtung, daher geringere Oxydationsgefahr.**
- > Wesentlich geringerer Leistungsbedarf im Vergleich zum Flamm- oder Plasmaspritzen.**
- > Thermische Belastung des Substrats ist gering.**

### ***Historischer Rückblick***

Das Verfahren wurde am ITAM ( Institut for Theoretical and Applied Mechanics) in Novosibirsk bei Forschungsarbeiten zur Untersuchung von teilchenbeladenen Abgasstrahlen aus Raketentriebwerken durch Zufall entdeckt.

Nach entsprechender Forschungsarbeit erfolgte die Patentanmeldung:

EP- Patent 0484 533 , Method and device for coating ( Veröffentlichung 1992)

Inhaber :Institut of Theoretical and Applied Mechanics, ITAM, Novosibirsk,

Erfinder : Prof.A. Alkhimov, Prof. A.. Papyrin; et al

EP bezieht sich auf: England, Deutschland, Frankreich

**Wichtig.**

**Das EP -Patent bezieht sich auf Treibgasbeschleunigung mit Überschalldüsen.**

***Historie der Entwicklungsarbeiten in Deutschland.***

**Das Verfahren befindet sich bezüglich Anlagentechnik und Analyse der Beschichtungsqualität noch weitgehend in der Entwicklungs- und Erprobungsphase.**

**Nach unserer Kenntnis wurden Entwicklungsarbeiten von folgenden Stellen durchgeführt:**

**DLR Göttingen, Institut für Strömungsmechanik  
Hauptaspekte: Gas Dynamik der Partikelströmung.**

**Universität der Bundeswehr Hamburg ; Prof. Kreye  
Oberflächenanalyse der Niederschlagsschichten**

**HTG, Katlenburg Lindau  
Entwicklung einer transportablen Prototyp- Anlage**

**CGT Cold Gas Technology GMBH, 84539 Ampfing  
Anlagenbau, Vertritt jetzt Patentinhaber**

### ***Die gasdynamische Beschleunigung des Pulvers.***

Das von ITAM patentierte Verfahren bezieht sich die Beschleunigung in Überschalldüsen.

Für Partikel mit niedriger Schmelztemperatur kann die Beschleunigung auch in Schalldüsen mit geeigneter Beschleunigungsstrecke vorgenommen werden.. ( HTG - Patentanmeldung)

Die beiden Beschleunigungsmethoden werden in Bild 1 verglichen.

Generelle Anforderungen an die Beschleunigungsstrecke sind:

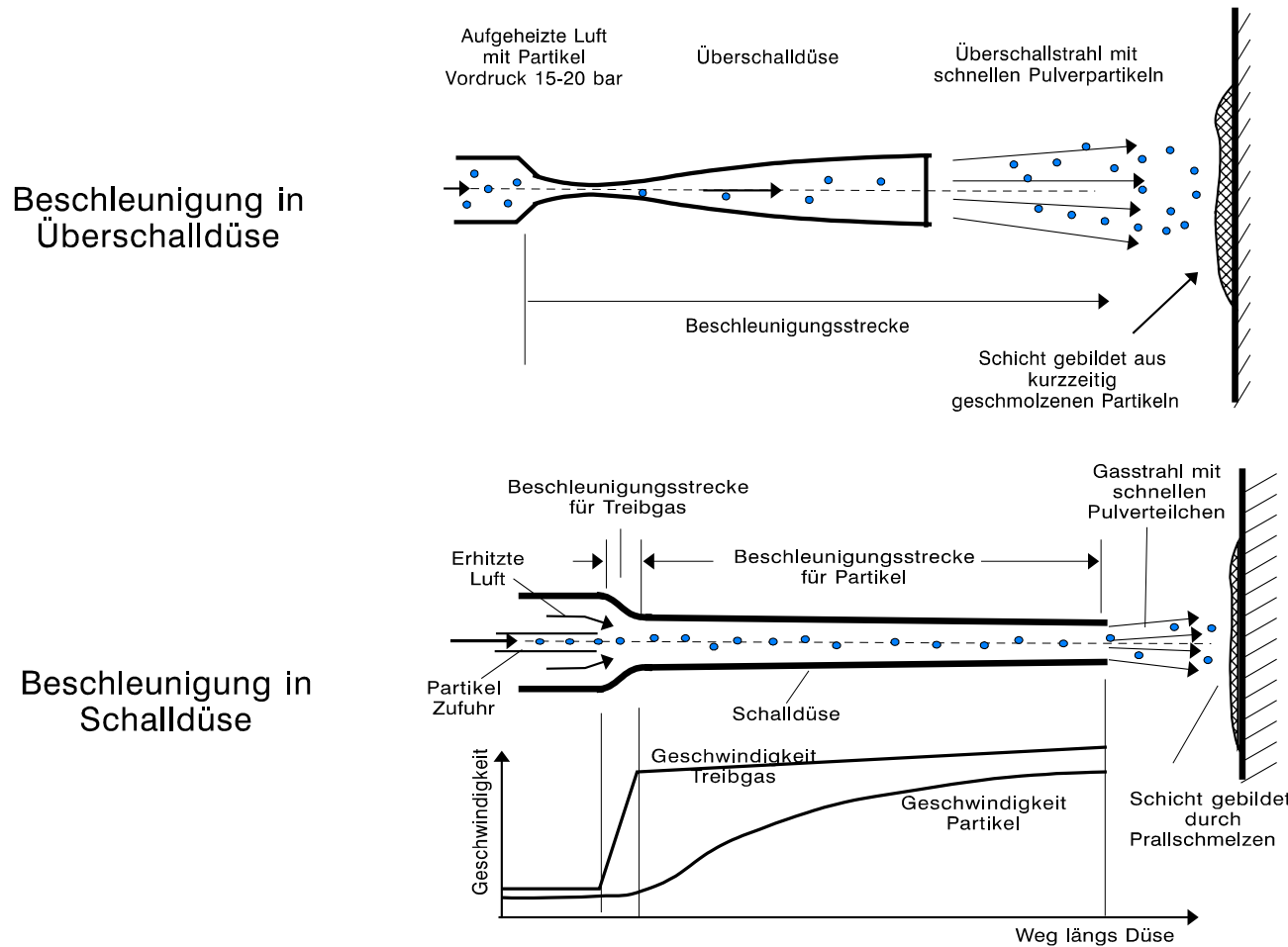
Die Strecke sollte möglichst lang sein damit Schlupf zwischen Partikel und Gas vermieden wird.

Bei Überschalldüsen erfolgt die Beschleunigung deshalb im langen Überschallteil der Düse.  
Bei Schalldüsen liegt die Beschleunigungsstrecke vor dem Düsenhals ( Ma zwischen 0,8-1)

Für die erreichbaren Strömungsgeschwindigkeiten gilt:

Überschalldüse mit Machzahl	Ma = 3	Geschwindigkeit V = 2 a*
Schalldüse mit Machzahl	Ma = 1	Geschwindigkeit V = a*

Wobei für die Schallgeschwindigkeit a\* im Düsenhals gilt:  $a^* = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa + 1} RT_0}$



Vergleich der Pulverbeschleunigung mit Überschall- bzw. Schalldüse

Bild 1

## **Die Vor- und Nachteile von Über-bzw Unterschallbeschleunigung**

### **Beschleunigung mit Überschalldüsen:**

#### **Vorteile :**

**Strömungsgeschwindigkeit um Faktor 2 höher  
Beschichtung mit hochschmelzenden Materialien möglich.**

#### **Nachteile**

**Düse ist schwieriger zu fertigen.  
Verschmutzung beeinträchtigt Strömung erheblich  
Hoher Betriebsdruck von etwa 20 -25 bar ist notwendig um Gleichdruckaustritt zu erzeugen.**

### **Beschleunigung mit Schalldüsen:**

#### **Vorteile:**

**Düse einfacher in der Herstellung.  
Betriebsdruck liegt niedriger ( Druckstufe 16)  
Für niedrig schmelzende Beschichtungsmaterialien reicht Beschleunigung mit Schalldüse aus.  
Druckbelastung des Beschichtungsobjektes ist niedriger**

#### **Nachteile**

**Eingeschränkte Beschleunigungsmöglichkeit.**

### ***Beschichtungsmaterialien und notwendige Aufheiztemperatur des Treibgases.***

Die Aufheizung ist aus folgenden Gründen notwendig;

- a. Geschwindigkeit des Treibgases steigt mit Temperatur  $T_0$ ;  $V \approx (T_0)^{0,5}$
- b. Partikel werden im warmen Gasstrahl vorgewärmt.

Aufheiztemperatur  $T_0$  richtet sich nach folgenden charakteristischen Daten des Beschichtungspulver:  
( Siehe Tabelle 1)

Spezifische Wärme	$c_p$
Schmelzwärme	$h_s$
Schmelztemperatur	$T_s$

Die spezifische kinetische Energie  $e_{kin}$  der Partikel sollte beim Aufprall betragen

$$e_{kin} = 0,5 V^2 \approx c_p (T_s - T_0) + h_s$$

Bild 2 zeigt für verschiedene Materialien an Hand von Beispiel-Rechnungen, die notwendigen Kesseltemperaturen  $T_0$ .

### ***Anforderungen an Partikelgröße des Pulvers***

Um den Geschwindigkeitsschlupf zum Gas zu minimieren sollte das Pulver mit folgenden Dimensionen benutzt werden:

$$d \approx 10-40 \mu m$$

Tabelle 1 Charakteristische Daten von Beschichtungsmaterialien

Material		Materialdaten			
Name	Kurzzeichen	Dichte Rho, kg/m <sup>3</sup>	Schmelztemp. Ts, °C	spez. Wärme cp ,J/kg K	Schmelzwärme hs, J/g
Zinn	Sn	7238	232	213	59,6
Zink	Zn	7140	420	388	111
Alu	Al	2700	660	900	388
Silber	Ag	10500	962	237	103
Kupfer	Cu	8960	1083	385	205
Nickel	Ni	8900	1453	444	292
Titan	Ti	4500	1668	523	365
Wolfram	W	19350	3410	133	192

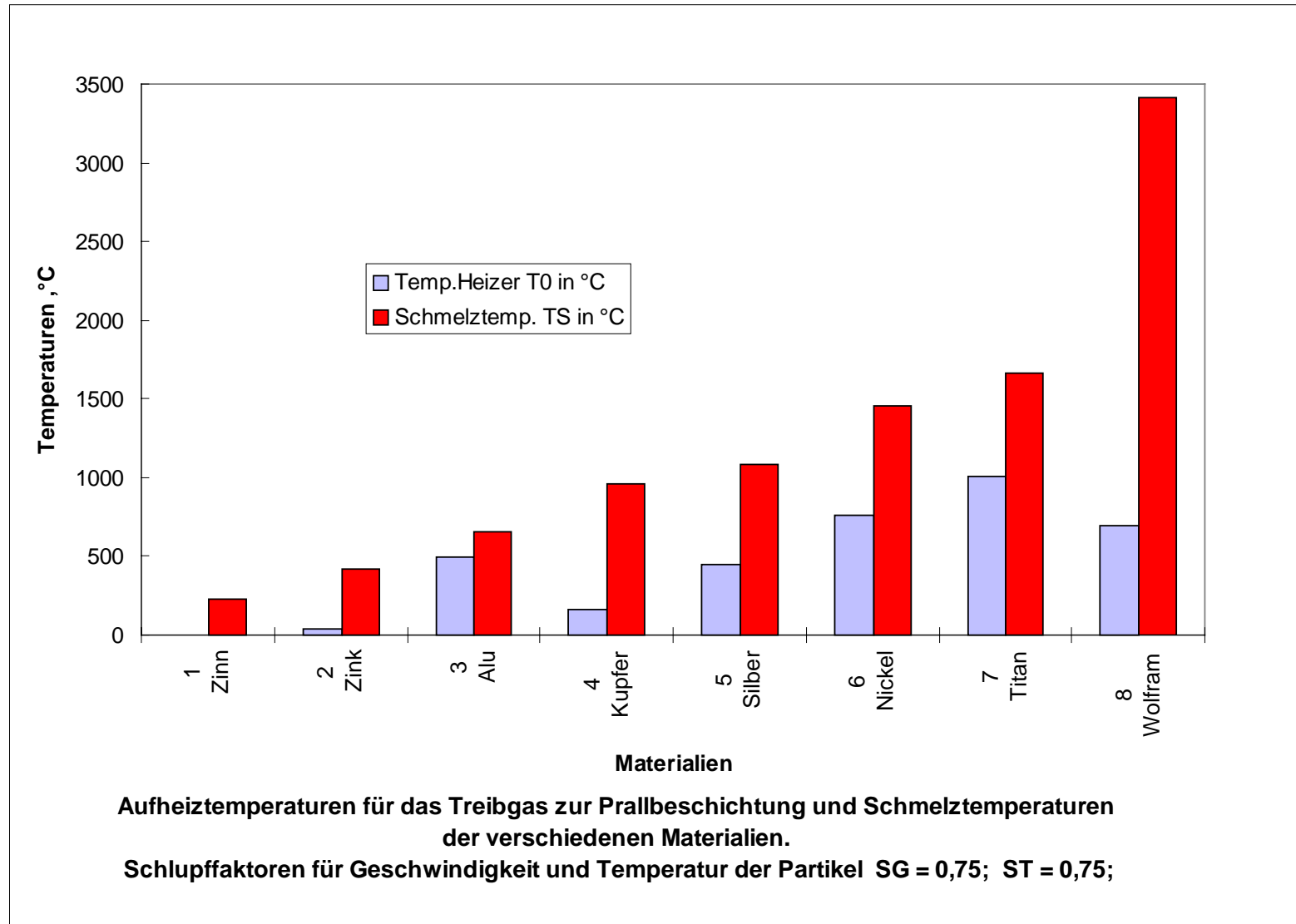


Bild 2

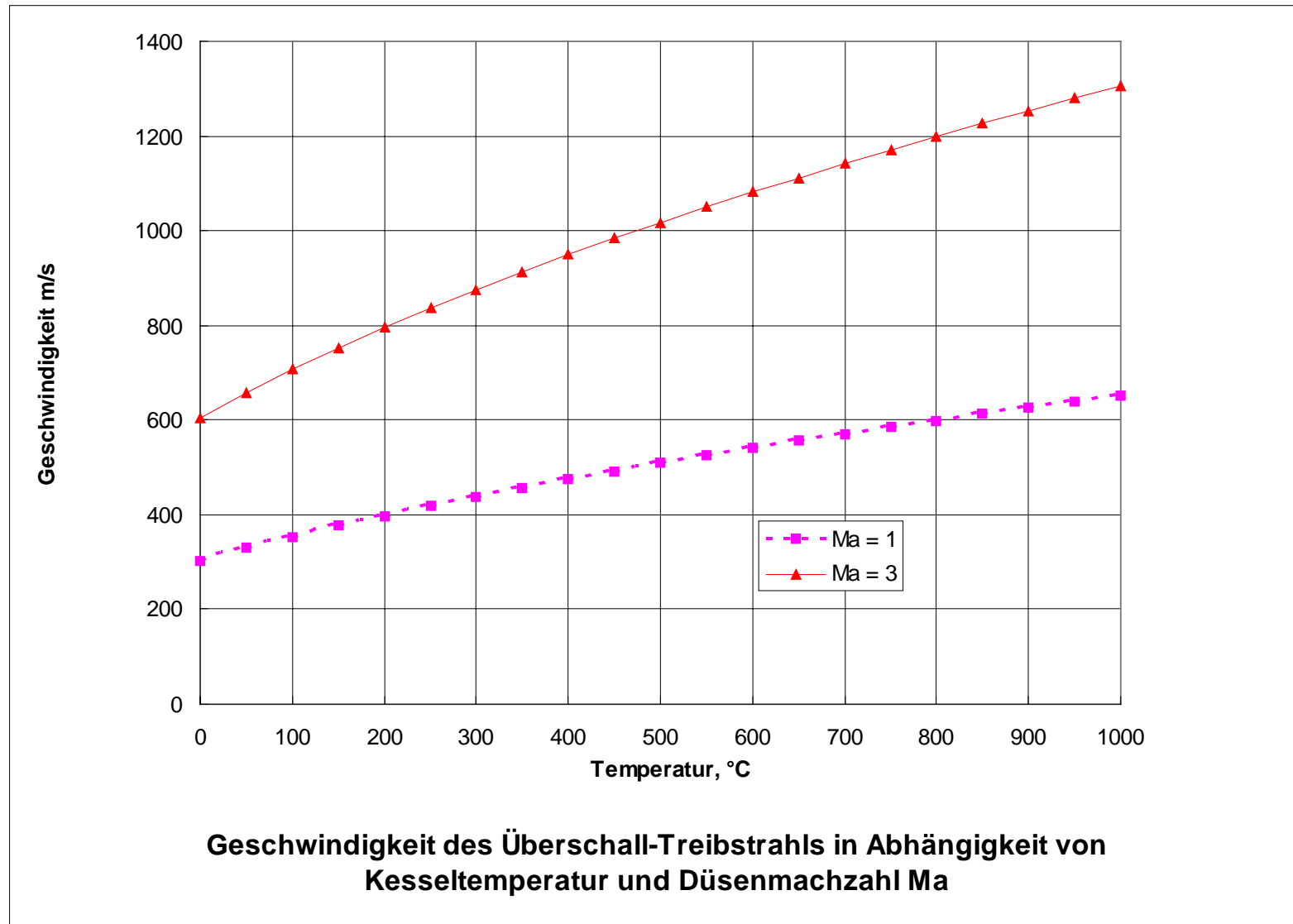


Bild 3

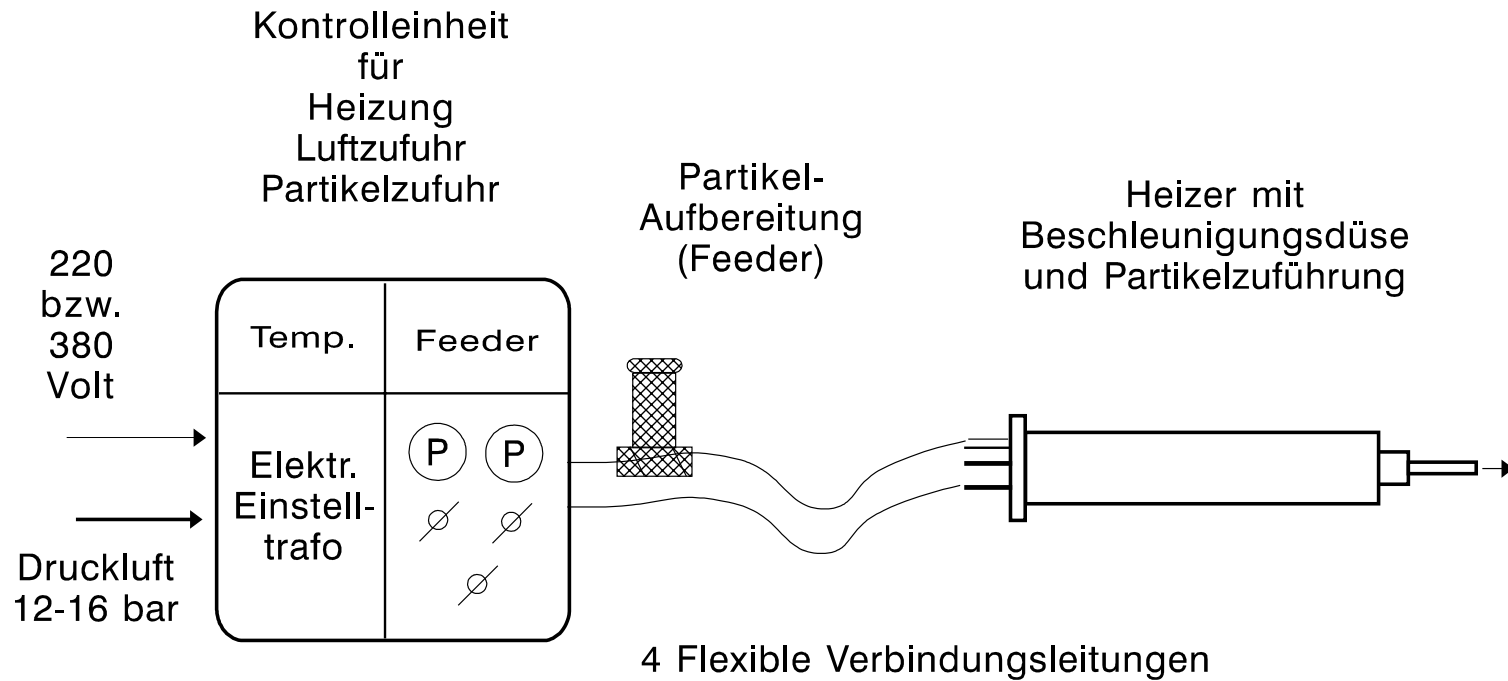
***Die Komponenten der von HTG entwickelten Anlage.***

1. Heizerblock mit Beschleunigungsdüsen.
2. Partikel- Feeder.
3. Stromversorgung mit Temperaturregler.
4. Pneumatische Regeleinheit für Treibstrahl und Feederluft für Pulver.
  
5. Verbindungsleitungen zwischen Kontrolleinheit und Beschichtungskanone.
  - 2 Druckluftleitungen .
  - Stromkabel
  - Meßleitungen
  
3. Notwendige Versorgung.
  - Druckluft: 16 bar, ca. 40 - 60 kg/h
  - Elektrisch: 220 Volt ; 16 Amp.
  
4. Die Leistungsdaten für Beschichtung mit Zink.

Die Daten beziehen sich auf Düse mit 2mm Halsdurchmesser und einer Gesamttemperatur von 300°C

Heizleistung	:	3	kW
Gasdurchsatz	:	42	kg/h; entspricht 36 Nm <sup>3</sup> /h
Gastemperatur	:	300	°C
Mittlere Heizertemperatur	:	600	°C

Bild 4 skizziert die Komponenten der Anlage.



Die Komponenten der Prallbeschichtungsanlage

Bild 4

***Einsatzbereich und spezifische Eigenschaften der Erprobungsanlage***

**Anlage ist transportabel**

**Heizerblock mit Beschleunigungsdüse wiegen etwa 3 kg.**

**Anlage ist für die Erprobung von Beschichtungsmöglichkeiten konzipiert.**

**Beschichtungsobjekte:    Kleine Bauteile  
                              Schweißnähte  
                              Nachbeschichtung von Fehlstellen.**

**Erprobungstatus: Mit folgenden Materialien wurde beschichtet**

**Zink  
Alu  
Kupfer  
Titandioxyd**