

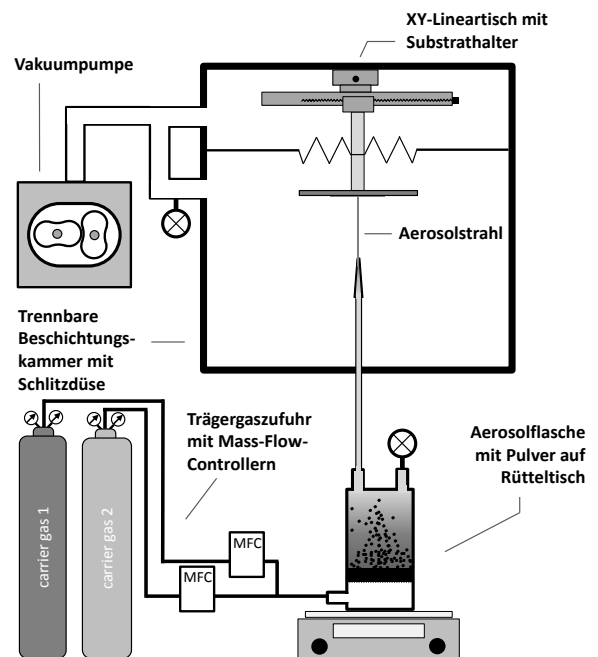
## Herstellung keramischer Beschichtungen mittels der Aerosol-Depositions Methode am Lehrstuhl für Funktionsmaterialien

Um keramische Bauteile und Schichten herzustellen, benötigt man üblicherweise Sintertemperaturen über 1000 °C, wodurch es sich als problematisch erweist, Keramiken mit niedrigschmelzenden Metallen, Gläsern oder Polymeren zu verbinden. Manche Keramiken, insbesondere komplexere Funktionskeramiken, lassen sich auch gar nicht erst herstellen, da sie sich zersetzen bevor sie verdichten. Dies stellt zum Beispiel bei der Herstellung elektrokeramischer oder mikroelektronischer Bauteile eine große Herausforderung dar.

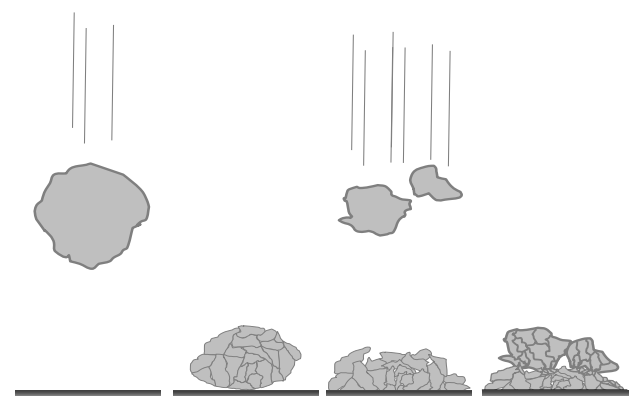
Mit der sog. Aerosolbeschichtungsmethode (ADM) kann man dichte keramische Schichten ohne Hochtemperaturprozesse direkt aus dem Ausgangspulver auf fast beliebige Substratmaterialien aufbringen. Durch eine Pulverschüttung hindurch wird ein Prozessgas geleitet. Dadurch entsteht ein Aerosol, welches durch eine Druckdifferenz vom Aerosolerzeuger in die Vakuumkammer befördert wird. Dort wird das Aerosol durch eine Düse auf mehrere 100 m/s beschleunigt und auf das zu beschichtende Substrat gelenkt (siehe Abb. 1). Dabei können fest anhaftende, dichte Beschichtungen von 1 bis 300 µm Dicke ohne jeglichen Sinterprozess erzeugt werden. Die Materialeigenschaften der erzeugten Schicht sind dabei ähnlich dem Ausgangsmaterial.

Der genaue Mechanismus der Schichtbildung ist bislang ungeklärt. Die hohe kinetische Energie der submikrometergroßen Partikel führt beim Aufprall auf das Substrat zum Aufbrechen in nanometergroße Bruchstücke, wie es schematisch in Abb. 2 dargestellt ist. Nach Ausbildung einer Verankerungsschicht auf dem Substrat kommt es zu einem kontinuierlichen Aufbau und Verdichtung der Schicht. Dieser Vorgang wird als „Room Temperature Impact Consolidation“ (RTIC) bezeichnet.

Am Lehrstuhl für Funktionsmaterialien verbindet man das bereits geschaffene Wissen sowohl über die Materialien (Materialklassen, Funktionseigenschaften, Pulverherstellung und -vorbehandlung) als auch über die Anlagentechnik (Prozesssteuerung, Düsengeometrie, Aerosolherzeugung und -transport) für ein optimales Ergebnis der Aerosolbeschichtung. Dabei stehen vor allem eine funktionierende Schichtabscheidung, die mechanischen und Funktionseigenschaften der Schichten und auch deren Anwendung im Fokus der Forschung.

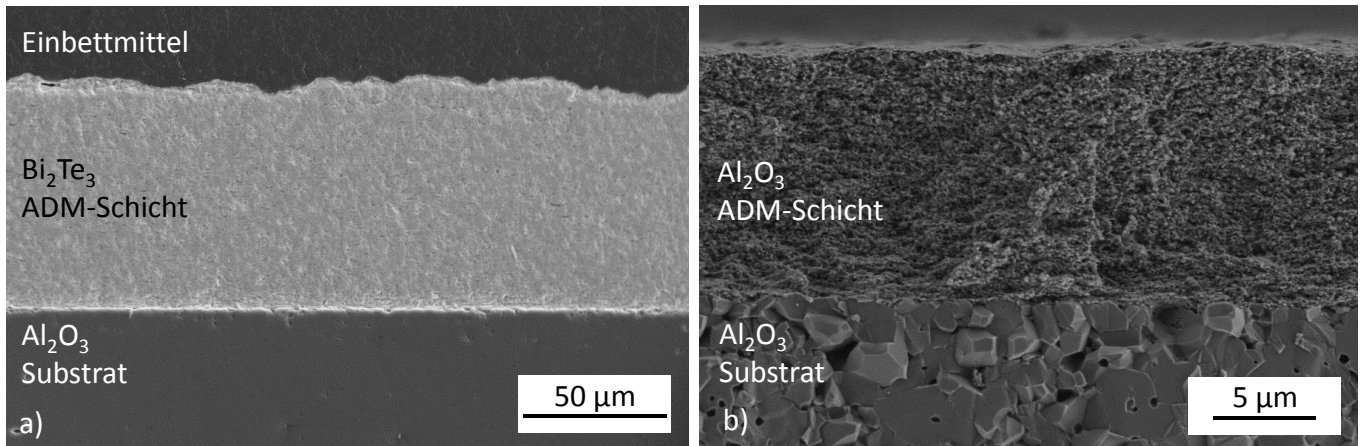


**Abb. 1:** Schematische Darstellung einer Anlage zur Aerosol-Deposition mit Aerosolgenerator, Beschichtungskammer und Vakuumpumpe



**Abb. 2:** Mechanismus des Aufbrechens von Partikeln und deren Verdichtung

Erfolgreich abscheidbar sind passivierende Keramiken (z. B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [1],  $\text{TiO}_2$  [2]), Sauerstoff-Ionenleiter (z.B. YSZ, Bismutvanadate [3]), thermoelektrische Materialien (wie z.B. Bismuttelluride, Kupferdelafossite) oder weitere Funktionskeramiken wie Silizide oder PZT. Auch konnten bereits Sauerstoffsensoren auf Basis von  $\text{SrTi}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}\text{O}_{3-\delta}$  [2] oder  $\text{BaFe}_{0.7}\text{Ta}_{0.3}\text{O}_{3-\delta}$  [4] hergestellt werden. Als Substratmaterialien können Keramiken, Stähle, Glas, Silizium, Siebdruckstrukturen aber auch Polymere verwendet werden. Hervorzuheben ist dabei, dass die abgeschiedenen Schichten vollkommen dicht sind, wie in Abb. 3 zu erkennen ist.



**Abb. 3:** a) REM-Schliffbild einer 80 µm dicken ADM-Schicht aus Bismuttellurid auf einem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Substrat;  
b) Bruchbild einer 8 µm dicken  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -ADM-Schicht auf einem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Substrat [1]

Ein neuartiger Ansatz der Aerosolbeschichtungsmethode ist die gleichzeitige Abscheidung zweier Pulver (Co-Deposition) und das anschließende Kalzinieren der Ausgangsstoffe zu einer Funktionsschicht. Beispielsweise konnte durch diese Technik aus  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  und  $\text{TiO}_2$  eine ADM-Schicht abgeschieden werden, die nach einer Temperaturbehandlung das Dielektrikum  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  bildet [5].

Die aufgetragenen Schichten können am Lehrstuhl für Funktionsmaterialien auf eine Vielzahl von Eigenschaften untersucht werden. Diese sind z.B. Thermokraft, induzierte Schichtspannungen, elektrische/ionische Leitfähigkeit, Einfluss einer Nachbehandlung, Phasenanalyse oder auch die Schichtmorphologie (REM).

## Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Moos

Telefon: +49 921 55 7401

E-Mail: [funktionsmaterialien@uni-bayreuth.de](mailto:funktionsmaterialien@uni-bayreuth.de)

## Referenzen:

- [1] M. Schubert, J. Exner, R. Moos:  
Influence of carrier gas composition on the stress of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  coatings prepared by the Aerosol Deposition Method  
**open access - free** *Materials*, **7**, 5633-5642 (2014), doi: [10.3390/ma7085633](https://doi.org/10.3390/ma7085633)
- [2] K. Sahner, M. Kaspar, R. Moos:  
Assessment of the novel aerosol deposition method for room temperature preparation of metal oxide gas sensor films  
*Sensors and Actuators B: Chemical*, **139**, 394-399 (2009), doi: [10.1016/j.snb.2009.03.011](https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.03.011)
- [3] J. Exner, P. Fuierer, R. Moos:  
Aerosol deposition of (Cu,Ti) substituted bismuth vanadate films  
*Thin Solid Films*, **573**, 185-190 (2014), doi: [10.1016/j.tsf.2014.11.037](https://doi.org/10.1016/j.tsf.2014.11.037)
- [4] M. Bektas, D. Hanft, D. Schönauer-Kamin, T. Stöcker, G. Hagen, R. Moos:  
Aerosol-deposited  $\text{BaFe}_{0.7}\text{Ta}_{0.3}\text{O}_{3-\delta}$  for nitrogen monoxide and temperature-independent oxygen sensing  
**open access - free** *Journal of Sensors and Sensor Systems*, **3**, 223-229 (2014), doi: [10.5194/jsss-3-223-2014](https://doi.org/10.5194/jsss-3-223-2014)
- [5] J. Exner, P. Fuierer, R. Moos:  
Aerosol Co-Deposition of Ceramics: mixtures of  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$  and  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $\text{V}_2\text{O}_5$   
*Journal of the American Ceramic Society*, accepted, doi: [10.1111/jace.133364](https://doi.org/10.1111/jace.133364)