

2 Belegung von Substraten mit Nanopartikeln aus der Gasphase

Die Nutzung von in der Gasphase erzeugten Partikeln erfordert in vielen Fällen, daß sie aus der Gasphase auf ein Trägermaterial, das Substrat, abgeschieden werden. Für die Abscheidung von Partikeln im betrachteten Größenbereich unter 100 nm kommen beispielsweise Niederdruckimpaktoren zum Einsatz, in denen die Abscheidung der Partikel aufgrund ihrer Massenträgheit erfolgt. Hierbei sind, wegen der geringen Masse der Partikel sehr hohe Geschwindigkeiten nötig, die durch einen Unterdruck im Impaktor und die Expansion des Trägergases durch eine kritische Düse am Einlass erreicht werden. Ein anderes Verfahren, das im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurde, beruht auf der Ausnutzung der Coulombschen Kraft auf geladene Partikel im elektrischen Feld eines Elektrostatischen Präzipitators (ESP).

Das Prinzip des ESP wurde u.a. in /28/, /29/ eingehend erörtert. Durch Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen einer Außenelektrode -dem Gehäuse des ESP- und einer Innenelektrode werden mit der richtigen Polarität geladene Partikel aus der Gasströmung abgelenkt und auf der Innenelektrode abgeschieden. Der verwendete ESP ist in Abbildung 2.1 schematisch dargestellt. Es handelt sich um eine zylinderförmige Edelstahlkammer mit einem Innendurchmesser von 100 mm. Im Innern der geerdeten Kammer befindet sich eine kreisförmige, horizontal ausgerichtete Elektrode mit einem Durchmesser von 30 mm. Der Elektrodenhalter hat einen Außendurchmesser von 60 mm und dient dazu, den Teil der Elektrode, der unter

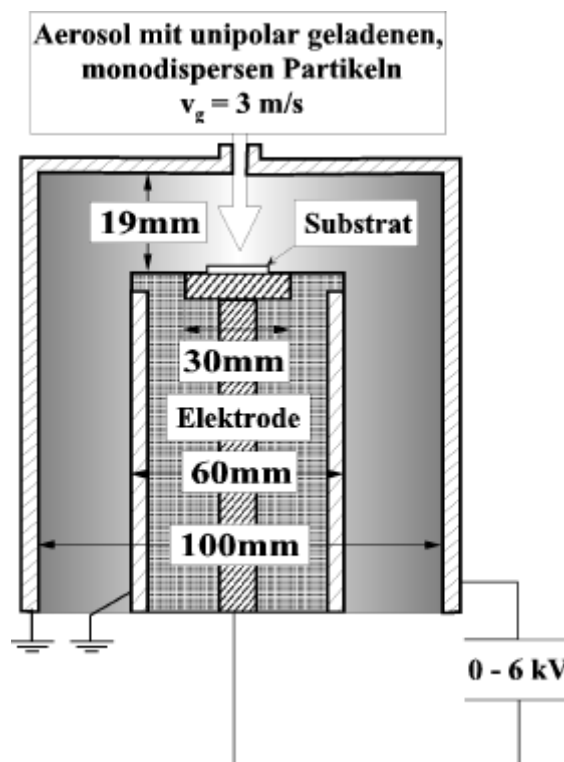


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des Elektrostatischen Präzipitators

halb der Depositionsfläche liegt, gegenüber dem Zylindermantel abzuschirmen. Dies ist nötig, um ein möglichst homogenes elektrisches Feld zwischen Aerosoleinlaß und Depositionsfläche zu erzeugen. Der Abstand zwischen Aerosoleinlaß und Elektrode beträgt 19 mm. Vom rohrförmigen Einlaß, der einen Durchmesser von 3,5 mm aufweist, in der oberen Stirnwand fließt das Aerosol in die Kammer. Bei dem gegebenen Volumenstrom von $1,68 \text{ lmin}^{-1}$ beträgt die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Einlaß 3 ms^{-1} . Ein Substrat, auf dem Partikel abgeschieden werden, wird mittig auf die Elektrode gelegt.

Da der Depositionsprozess von Nanopartikeln im ESP maßgeblich durch das Strömungsfeld sowie das elektrische Feld in der Kammer bestimmt wird, müssen diese für eine weiterführende Untersuchung des Depositionsvorganges bekannt sein. Abbildung 2.2 zeigt den mit dem Finite-Elemente-Programm QuickField[®] berechneten Verlauf der Äquipotentiallinien sowie der elektrischen Feldlinien für den Fall der maximal angelegten Spannung von 6 kV an der Elektrode. Für die Elektrodenhalterung wird ein Dielektrikum mit einer Dielektrizitätskonstanten von 3 angenommen. Die metallische Wandung der Depositionskammer sowie der Elektrodenabschirmung wurde auf das Potential null gesetzt. Da die Depositionskammer mit Stickstoff gefüllt ist wurde für diesen Bereich eine Dielektrizitätskonstante von 1 angenommen. Aus der Abbildung 2.2 ist zu ersehen, daß das Feld über dem Depositionsbereich homogen ist und die Feldlinien senkrecht zur Elektrodenoberfläche verlaufen. Daraus folgt, daß die Coulombsche Kraft aufgrund des homogenen Feldes die Partikel senkrecht zur Elektrodenfläche zieht.

Abbildung 2.3 stellt das Strömungsfeld im verwendeten ESP dar, das mit dem Finite-Elemente-Programm Phoenix berechnet wurde. Es ist zu erkennen, daß das Trägergas vom Aerosoleinlaß her senkrecht auf die Elektrode zufließt. Es bildet sich ein scharf begrenzter Jet

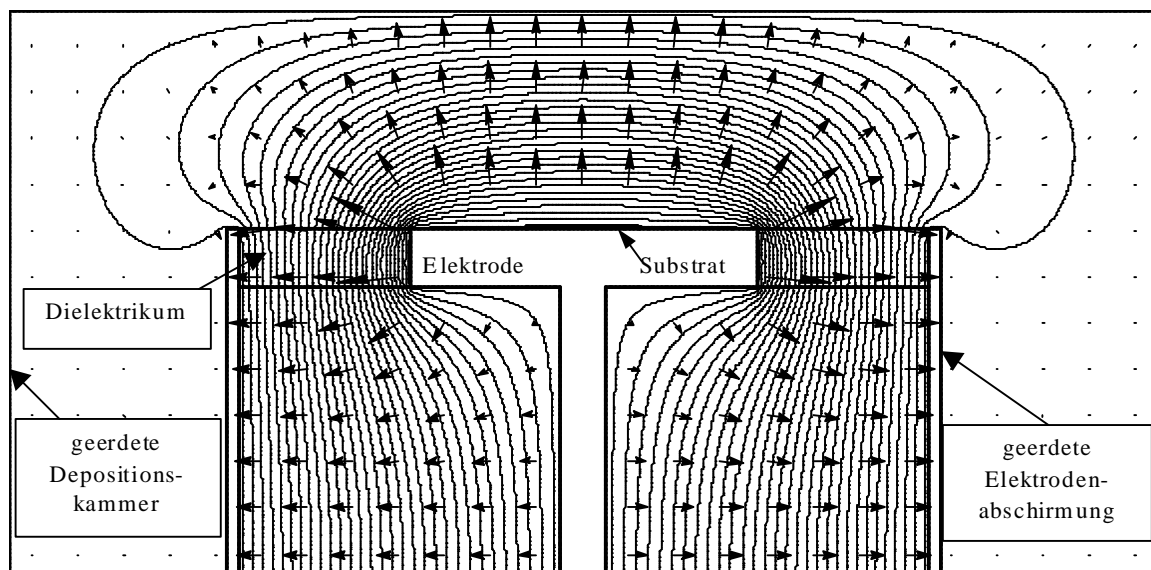


Abbildung 2.2: Simulation des homogenen elektrischen Feldes im ESP

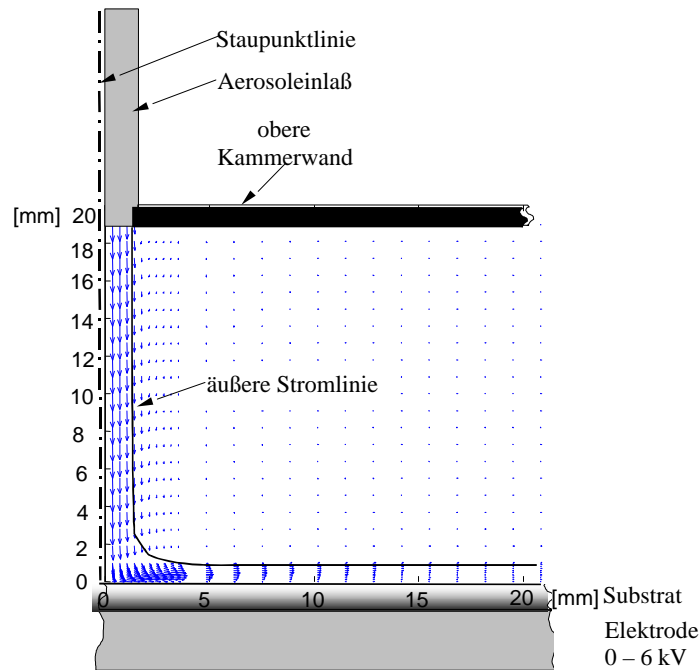


Abbildung 2.3: Simulation des Strömungsfeldes im ESP

dessen Durchmesser von 3,5 mm durch den Einlaß bestimmt wird. Der Staupunkt liegt im Mittelpunkt der Elektrode. Durch die horizontal ausgerichtete Elektrodenfläche wird die Strömung umgelenkt, und es bildet sich ein parallel zur Substratoberfläche verlaufendes Geschwindigkeitsprofil aus. In einem Abstand von ca. 3,5 mm von der Staupunktlinie weist die Strömung lediglich horizontale Geschwindigkeitskomponenten auf. Die äußere Stromlinie kennzeichnet den Bereich in dem der Partikeltransport durch die Gasphase stattfindet.

Die Kombination aus Strömungsfeld und elektrischem Feld bewirkt, daß Nanopartikel mit einer elektrischen Ladung in einem kreisförmigen Depositionsfleck abgeschieden werden. Innerhalb dieses Depositionsfleckes sind die Partikel über den gesamten Querschnitt, makroskopisch gesehen, homogen verteilt /28/. In den folgenden Kapiteln wird anhand der Analyse der Wechselwirkungen der Partikel mit ihrer Umgebung erörtert, wodurch die mikroskopische Verteilung der Partikel auf der Substratoberfläche bestimmt wird und wie sie durch eine geeignete Wahl der Depositionsparameter manipuliert werden kann.