

Impaktoren

Unter Impaktoren versteht man allgemein Geräte zum Sammeln von Aerosolpartikeln, welche die Massenträgheit ausnutzen, mit Ausnahme der sogenannten Zyklonsammler. Durch geeignete Wahl der Strömungsführung des Trägergases an der Prallfläche, auf der die Partikel abgeschieden werden sollen, wird eine Zentrifugalkraft erzeugt. Diese Kraft bewirkt, daß die Partikel nicht mehr den Stromlinien folgen können und mit der Prallplatte oder einem sonstigen Strömungshindernis kollidieren. Die Wahrscheinlichkeit einer solchen Trägheitsabscheidung wächst mit der Masse des Partikels.

Prinzipiell lassen sich Düsenimpaktoren und freie Impaktoren unterscheiden. Bei Düsenimpaktoren differenziert man zwischen Prallplattenimpaktoren und virtuellen Impaktoren, bei denen die Prallplatte durch eine Konvergenzfläche im Strömungsfeld ersetzt wird. Erzeugt wird diese "virtuelle Prallplatte" am Eingang einer Rohrmündung dadurch, daß die Anströmgeschwindigkeit größer als die Absauggeschwindigkeit gewählt wird.

Freie Impaktoren werden durch Hindernisflächen gebildet, die entweder durch das Aerosol bewegt werden (mit bekannter Geschwindigkeit) oder in einer Strömung stehen.

Die Abbildung zeigt das typische Strömungsbild in Impaktoren und verschiedene Partikeltrajektorien.

Grundlagen der Impaktion

Ist das Strömungsfeld in hinreichender Nähe einer Abscheidefläche bekannt, so lassen sich die Partikeltrajektorien durch Lösen der Bewegungsgleichung berechnen. Es gilt, sofern lediglich die Reibungskraft berücksichtigt wird:

$$m \, dv/dt = -F = -3 \pi \mu d_p v / C(d_p)$$

m: Partikelmasse

v: Relativgeschwindigkeit des Partikels gegenüber dem Trägergas

μ : dyn. Viskosität

d_p : Partikeldurchmesser

$C(d_p)$: Schlupfkorrektur

Die Integration dieser Gleichung über die Zeit liefert:

$$v = v_0 \exp \left(- \frac{d_p^2 \rho_p C(d_p)}{18 \mu} t \right) = v_0 \exp(-1/\tau \, t)$$

τ : Bremsrelaxationszeit

t: Zeit

Die Strecke, die ein Partikel, das mit der Geschwindigkeit v_0 in ruhende Luft eingeschossen wird, nach unendlicher Zeit zurücklegt, bevor es zur Ruhe kommt, wird als **STOPDISTANZ** ($= \tau v_0$) bezeichnet. Das Verhältnis dieser Stopdistanz zu einer typischen Gerätedimension wird als Trägheitsparameter oder Stokeszahl bezeichnet und als dimensionslose Maßzahl zur Charakterisierung der Trägheitsabscheidung verwendet. Bei unterschiedlichen Gerätedimensionen erhält man demnach bei gleichem Trägheitsparameter gleiche Abscheidewahrscheinlichkeiten. Im Falle eines Runddüsenimpaktors gilt folgende Definitionsgleichung:

$$\text{Stk} = \frac{d_p^2 \rho_p C(d_p)}{9 \mu D}$$

Stk: Trägheitsparameter oder Stokeszahl

D: Durchmesser der Runddüse bzw. 2 mal Düsenweite beim Schlitzimpaktor

Die Schlupfkorrektur oder Cunningham-Korrektur berücksichtigt Diskontinuumseffekte des Trägergases, die zu einem geringeren Strömungswiderstand der Partikel führen, sobald der Partikeldurchmesser vergleichbar mit der mittleren freien Weglänge wird.

Die Berechnung der Trenngrenzen einer Impaktorstufe erfolgt durch Auflösen der Definitionsgleichung der Stokeszahl nach d_p , wobei die Stokeszahl für eine Abscheidewahrscheinlichkeit von 50% (Stk_{50}) eingesetzt wird. Diese muß durch Kalibrierexperimente oder durch numerische Simulation des Impaktionsprozesses bestimmt werden.

Die **TRENNSCHÄRFE TS** eines Impaktors läßt sich wie folgt definieren:

$$TS = d_{p50} / (d_{p90} - d_{p10})$$

d_{p50} : Partikeldurchmesser für 50% Abscheidewahrscheinlichkeit

d_{p90} : wie oben für 90% Abscheidewahrscheinlichkeit

d_{p10} : wie oben für 10% Abscheidewahrscheinlichkeit

Bei realen Prallplattenimpaktoren kann die Trennschärfe Werte > 10 erreichen, während bei der freien Impaktion und bei virtuellen Impaktoren lediglich Werte ≤ 1 erzielt werden.

Bei mehrstufigen Impaktoren erfolgt von Stufe zu Stufe eine Druckerniedrigung und durch Benutzung kleinerer Düsendurchmesser eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit. Dadurch wird die Abscheidung kleinerer Partikel ermöglicht. Mit kommerziellen Impaktoren können Trenngrenzen kleiner als 10 nm erzielt werden.

Obwohl in den Düsen der einzelnen Impaktorstufen das Trägergas adiabatisch expandiert wird, erfolgt von Stufe zu Stufe keine Temperaturabnahme, da dies ein isenthalpischer Prozeß ist. Lediglich in den Düsen sinkt die Temperatur in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit zum Teil beträchtlich ab. Falls das Trägergas nicht als ideal angesehen werden darf, kann daher eine geringe Temperaturänderung auftreten (Joule-Thompson Effekt).

Da die Strömungsgeschwindigkeit in den Impaktorstufen der für die Abscheidung entscheidende Parameter ist, muß bei Impaktoren der Volumenfluß konstant gehalten werden und selbstverständlich bekannt sein. Angegebene Trenngrenzen sind nur für einen definierten konstanten Volumenfluß und spezifizierte thermodynamische Zustandsgrößen eines angegebenen Trägergases (meist Luft) gültig.

Wird unmittelbar hinter den Impaktor eine **KRITISCHE DÜSE** eingesetzt, so eliminiert man den Einfluß von Temperaturänderungen auf die spezifizierten Trenngrenzen, sofern sichergestellt ist, daß über die kritische Düse ein Druckabfall um mindestens den Faktor 0,528 erzeugt wird. In diesem Fall erreicht die Strömung in der kritischen Düse Schallgeschwindigkeit und Schwankungen der Pumpenleistung können sich nicht mehr stromauf in den Impaktor fortpflanzen. Änderungen der Temperatur beeinflussen jedoch den Volumenfluß durch den Impaktor. Deshalb muß der Durchfluß Q gemäß nachstehender Gleichung korrigiert werden:

$$Q = Q_0 (T/T_0)^{1/2}$$

Q_0, T_0 : Temperatur und Durchfluß unter Referenzbedingungen

Die Verwendung einer kritischen Düse hat also den Vorteil, daß man keine aufwendige Strömungsregelung benötigt und daß die Betriebsbedingungen des Mehrstufenimpaktors (Druckverhältnisse an den einzelnen Stufen) festgelegt sind. Damit liegen auch seine Eigenschaften fest.

Nachteilig wirkt sich der Einsatz einer kritischen Düse dadurch aus, daß eine Vakuumpumpe notwendig wird, die den geforderten Durchfluß bei Drücken zwischen 10 und einigen hundert hPa erbringen muß.

Applikationen

Impaktoren werden in allen Gebieten der Aerosolforschung eingesetzt, insbesondere jedoch dann, wenn neben der Massenkonzentration noch chemische Eigenschaften untersucht werden sollen.

EINSTUFIGE IMPAKTOREN dienen insbesondere zur Begrenzung der Partikelgröße nach oben (Vorabscheider) bzw. zur Sammlung einer Aerosolfraktion oberhalb des spezifizierten Trenndurchmessers. Im letzten Fall kann die kleinere Aerosolfraktion zum Beispiel mit Hilfe eines Filters gesammelt werden. Kommerziell erhältliche Geräte zu diesem Zweck werden in der Regel als virtuelle Impaktoren ausgelegt und beide Aerosolfractionen werden auf einem Filter (Glasfaserfilter etc.) gesammelt.

MEHRSTUFIGE IMPAKTOREN sind in der Lage, je nach Anzahl der Stufen größenabhängige Informationen über das Aerosol zu liefern. Kommerzielle Impaktoren sind aus bis zu 12 Stufen zusammengesetzt. Während sogenannte Niederdruckimpaktoren, in denen der statische Druck bis zu Werten in der Größenordnung von 10 hPa abgesenkt wird, Trenngrenzen im 10 Nanometer-Bereich zulassen, liegen die unteren Trenngrenzen von Impaktoren, die bei annähernd Umgebungsdruck (Druckabfall 200 hPa) arbeiten, im Durchmesserbereich größer 0,3 μm .

Beladung

Die Beladung von Impaktorstufen mit gesammelter Aerosolmasse spielt in Abhängigkeit vom Trägermedium, auf dem die Partikel gesammelt werden, eine wichtige Rolle. Ist die Beladung zu gering (zu kurze Sammelzeit bei geringen Massenkonzentrationen) wird der Fehler bei Wägungen schnell so groß, daß die Auswerteergebnisse unbrauchbar werden. Bei einer zu hohen Beladung (lange Sammelzeit, hohe Massenkonzentration) werden unter Umständen bereits abgeschiedene Partikel verblasen oder von auftreffenden neuen Partikeln wieder losgeschlagen. Durch den möglichen Übertrag von großen Partikeln in die nachfolgenden Stufen können die Meßergebnisse dann nicht mehr verwendet werden.

Je nach Impaktortyp liegen typische Beladungen im Bereich von wenigen bis zu mehreren hundert Milligramm.

Bei einer sorgfältigen Wägetechnik und der Verwendung von Aluminiumfolien als Abscheidefläche lassen sich Wägegenauigkeiten von 1 μg erreichen.

Abscheideflächen

Bei den meisten Impaktoren können verschiedene Substratmaterialien eingesetzt werden. Am häufigsten verwendet werden Glasfasermatten, Aluminium-, PE- und PTFE-Folien. In Abhängigkeit von den Aerosoleigenschaften muß man insbesondere bei trockenen Partikeln die Abscheidefolien mit einem Haftmittel (Vaseline, Öl, Fett) behandeln, um das obengenannte Verblasen zu verhindern. Je kleiner die Partikel werden, desto geringer wird das Problem des Verblasens.