

Waldner Laboreinrichtungen GmbH & Co. KG

Entwicklung eines Partikelmessverfahrens zur Prüfung von Laborabzügen

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 29981 21-2 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Gärtner & Dipl.-Ing. Jürgen Liebsch

Mai 2015

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	29981-01	Referat	21/2	Fördersumme	109.409,00 €
----	-----------------	---------	-------------	-------------	---------------------

Antragstitel **Entwicklung eines Partikelmessverfahrens zur Prüfung von Laborabzügen**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
3 Jahre	01.04.2012	31.03.2015	
Zwischenberichte	09.02.2013	11.08.2013	15.04.2014

Bewilligungsempfänger	Waldner Laboreinrichtungen GmbH & Co. KG Haidösch 1 88239 Wangen	Tel	08387-3609246
		Fax	07522 986 79538
		Projektleitung Jürgen Liebsch	
		Bearbeiter Christopher Sonntag	

Kooperationspartner Institut für Angewandte Forschung (IAF)
Hochschule Esslingen
Kanalstraße 33
73728 Esslingen

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines alternativen Emissions-Messverfahrens für Laborabzüge. Das bisherige Prüfverfahren nach DIN EN 14175-3 hat zum einen den Nachteil, dass es das stark klimaschädliche Gas Schwefelhexafluorid (SF₆) als Spürgas vorsieht. Zudem lassen sich Laborabzüge mit diesem Prüfverfahren nur unzureichend hinsichtlich ihres Rückhaltevermögens für Partikel und Aerosole beurteilen. Dies führt dazu, dass bei der Einstellung des Absaug-Volumenstroms bisher hohe Sicherheitsfaktoren Anwendung finden. Das neu zu entwickelnde Messverfahren sieht Partikel als Tracer vor. Eine Verwendung von SF₆ soll so künftig bei der Prüfung von Laborabzügen nicht mehr nötig sein. Außerdem wird es die bessere Kenntnis der Partikelemissionen von Laborabzügen voraussichtlich erlauben, den Absaugvolumenstrom zukünftig deutlich zu reduzieren und so eine Energieeinsparung von etwa 30% zu erzielen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Am Anfang des Vorhabens stehen die Recherche zu möglichen Partikelquellen und Partikelmessverfahren sowie die Einarbeitung in die theoretischen Grundlagen der Partikelmesstechnik. Um die vom Markt gewünschten Anforderungen an das geplante Partikelmessverfahren in Erfahrung zu bringen, soll eine Recherche beim Kunden durch die Firma Waldner durchgeführt werden.

Während der Vorversuchsphase werden verschiedene Messverfahren und Partikelquellen einander gegenübergestellt und in Experimenten bewertet. Am Ende der Vorversuchsphase soll die Festlegung auf ein Messverfahren und eine Partikelquellen stehen, mit deren Hilfe am sichersten ein Nachweis über die Emission von Laborabzügen erbracht werden kann.

Anschließend soll ein Prüfaufbau definiert werden, mit dem es möglich ist, Emissionswerte mit hoher Wiederholgenauigkeit zu messen. Als Vorlage für den Messaufbau könnten die bereits bestehenden Messverfahren nach DIN EN 14175-3 dienen.

Am Ende soll ein standardisiertes Prüfprozedere sowie einzuhaltende Grenzwerte für die Partikelemission festgelegt werden. Ziel ist schlussendlich die Schaffung eines normungsfähigen Prüfverfahrens.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurde ein Messverfahren entwickelt, das folgende Anforderungen erfüllt:

- Ersatz des üblichen Prüfverfahrens basierend auf einer SF6-Messung
- Ermittlung der Partikelemissionen aus einem Abzug
- Nachweis der wandnahen Konzentrationen von Partikeln
- Messsignal hoher Signifikanz

Die Vergleichbarkeit des Messverfahrens mit bestehenden Prüfmethoden wurde experimentell nachgewiesen. Die erforderliche Prüftechnik wurde in Form eines Funktionsmusters erstellt und erprobt. Ausgehend vom Funktionsmuster kann jetzt eine Serienlösung für den Partikelgenerator entwickelt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Waldner Laboreinrichtungen hat den neu entwickelten Laborabzug für staubförmige Substanzen Secuflow IONIC im Juni 2015 auf der ACHEMA präsentiert und ist auf großes Interesse der internationalen Messebesucher gestoßen. Um den Abzug vermarkten zu können, muss sein Leistungsvermögen quantifiziert werden und dazu wird das im vorliegenden Projekt entwickelte Prüfverfahren benötigt.

Anlässlich des ACHEMA-Kongresses wurde der aktuelle Entwicklungsstand des Prüfverfahrens in einem Vortrag von J. Liebsch vorgestellt.

Fazit

Die Hochschule Esslingen (Prof. Dr.-Ing. Ulrich Gärtner) und Juergen Liebsch – *Forschung und Entwicklung* sind von Waldner beauftragt, das Entwicklungsprojekt weiter zu begleiten, insbesondere zu den Themen:

- Durchführung von Feldtests bei ausgewählten Waldner-Kunden
- Neuaufbau und Standardisierung der Partikel-Prüfeinrichtung an der Hochschule Esslingen und Ausarbeitung einer Normvorlage
- Vergleichende Messungen Partikel/Spürgas (EN 14175) im Prüfraum Waldner/Wangen
- Integration der bewilligten Forschungsmittel vom BMWI/DIN in das Entwicklungsprojekt
- Konzeption und Entwicklung eines modularen Filterkonzepts zur Erfassung von Stäuben, integriert in die Rückwand des Abzugs

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	4
1. Einführung	5
2. Konstruktionsmerkmale des Partikelgenerators	6
3. Partikelanregung	7
4. Partikelabscheidung.....	8
4.1 Impaktor	8
4.2 Zyklon	12
5. Erprobungsergebnis.....	13
6. Prüfverfahren.....	14
6.1 Messung der Partikelbelastung in der wandnahen Strömung	14
6.2 Messung der Ausbrüche zur Bestimmung des Rückhaltevermögens.....	16
7. Zusammenfassung	21
8. Literaturverzeichnis	22
9. Anhang.....	23
9.1 Datenblatt Teststaub	23

1. Einführung

Ziel des Projektes war die Definition und Erprobung eines alternativen Emissions-Messverfahrens, mit dem es möglich ist, Laborabzüge hinsichtlich ihres Rückhaltevermögens für Partikel und Aerosole zu beurteilen.

In Abzügen der pharmazeutischen Industrie werden immer mehr reine Wirkstoffe in Pulverform verarbeitet. Hier geht durch den Austritt von Partikeln eine bedeutende Gesundheitsgefahr für die am Laborabzug beschäftigten Mitarbeiter aus. Aber auch in anderen Zweigen der Industrie besteht ein Gefährdungspotential durch die Emissionen von Partikeln und Aerosolen.

Die bestehenden Messverfahren nach DIN EN 14175-3 sehen das Verströmen des Spürgases Schwefelhexafluorid (SF_6) im Laborabzugsinnenraum und die anschließende Messung der Spürgaskonzentration in der Luft vor der Arbeitsöffnung vor. Aufgrund seiner hohen Dichte unterscheidet sich das Ausbreitungsverhalten von SF_6 aber deutlich vom Verhalten von Partikeln in Luft, sodass bisher keine Aussagen über die Partikelemissionen von Laborabzügen getroffen werden können. Aus diesem Grund müssen bei der Einstellung des Absaug-Volumenstroms hohe Sicherheitsfaktoren angewandt werden. Die Möglichkeit, mit dem neuen Messverfahren die tatsächlichen Partikelemissionen von Laborabzügen zu ermitteln, wird es voraussichtlich erlauben, mit kleineren Sicherheitsfaktoren zu rechnen. So ergäbe sich auch ein Energieeinsparpotential durch die Verringerung der nötigen Abluftmenge. Der derzeitige Luftmengenbedarf eines Laborabzugs beträgt ungefähr das Vierfache eines Einfamilienhauses. Durch die beschriebenen Maßnahmen könnte die benötigte Luftmenge um etwa 30% reduziert und somit eine Energieersparnis in der gleichen Größenordnung erzielt werden.

Zielsetzung des Projektes war jedoch nicht nur die Schaffung eines ergänzenden Messverfahrens, sondern es soll auch geprüft werden, ob sich die bestehenden Verfahren nach DIN EN 14175-3 durch das neue Messverfahren ersetzen lassen. Der wesentliche umwelttechnische Vorteil des neuen Verfahrens liegt hierbei im Ersatz eines Spürgases. Bisher wird für die Messungen, wie schon erwähnt, das Spürgas SF_6 eingesetzt, um die gasförmigen Emissionen von Laborabzügen zu erfassen. Dieses Gas ist, laut einer Studie des Intergovernmental Panel on Climate Change, das am stärksten wirksame bekannte Klimagas. In einigen Ländern droht sogar ein gesetzliches Verbot für die Anwendung von SF_6 , sodass dann die Prüfmöglichkeiten für Laborabzüge in Zukunft deutlich eingeschränkt werden. Daher ist die Ent-

wicklung eines Prüfverfahrens, welches auf das klimaschädliche Spürgas SF₆ verzichtet, dringend geboten.

In dem hier beschriebenen Projekt wurde zunächst ein Verfahren zur Erzeugung eines geeigneten Partikelgrößenpektrums entwickelt. Dazu wurde ein Partikelgenerator konzipiert und erprobt.

Im weiteren Projektablauf wurde dann eine Messstrategie entwickelt, die geeignet ist, das bestehende SF₆-Verfahren zu ersetzen.

2. Konstruktionsmerkmale des Partikelgenerators

Bei der Konstruktion des Partikelgenerators war die Besonderheit zu beachten, dass die Erzeugung eines Aerosols mit Partikeln kleiner als 1 µm angestrebt wurde. In diesem Partikelgrößenbereich dominieren elektrostatische Kräfte das Partikelverhalten in Wandnähe. Es ist daher nicht möglich, nur mit einem Luftstrom eine zuverlässige Anregung einer Pulvervorlage zu erreichen [NIEDBALLA, 1999]. Dies ist jedoch zur Durchsetzung des Luftstromes mit Partikeln in kontrollierter Konzentration und Größenverteilung erforderlich.

Um eine gleichmäßige Anreicherung des Luftvolumenstroms mit den Partikeln zu erreichen, wurden daher innerhalb des Partikelgenerators eine zusätzliche festkörpermechanische und eine strömungsmechanische Anregung der Pulvervorlage vorgesehen. Dazu wird die Pulvervorlage auf einer akustisch angeregten Membran gelagert. Über dieser Membran wirbelt ein Gebläse zusätzlich die Pulvervorlage auf. Das entstehende Aerosol wird dann mithilfe eines extern aufgeprägten Luftmassenstroms durchströmt. Durch die Geometrie des Partikelgenerators erfolgt eine Vorabscheidung der Partikel oberhalb von ca. 5 µm Durchmesser. In einer weiteren nachgeschalteten Abscheidestufe wird dann das Partikelgrößenpektrum an die Anforderungen des Prüfverfahrens angepasst.

Um Koagulationen des Pulvers durch elektrostatische Aufladung zu vermeiden, befindet sich innerhalb des Partikelgenerators eine Ionisierungseinrichtung, die die Pulvervorlage und die im Partikelgenerator strömende Luft elektrisch neutralisiert.

Neben dem Partikelgrößenpektrum, das der Partikelgenerator erzeugen muss, ist ein weiteres wichtiges Kriterium die erreichbare Einsatzzeit des Partikelgenerators, d.h., der Zeitraum, über den der Partikelgenerator in der Lage ist, ein zeitlich unveränderliches Partikel-

größenspektrum zu erzeugen. Zur Erreichung großer Einsatzzeiten erwies sich eine große Pulvervorlage als sinnvoll.

Das erzeugte Aerosol wird mit einem messtechnisch überwachten Luftstrom ausgebracht. Die Partikelkonzentration im Luftstrom wird optisch gemessen und dient als Regelgröße für die Amplitude der akustisch erregten Membran. Dadurch kann der Partikelstrom über einige Stunden konstant gehalten werden.

3. Partikelanregung

Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Aufbau des Partikelgenerators. Die Funktion der einzelnen Baugruppen wird im Folgenden beschrieben.

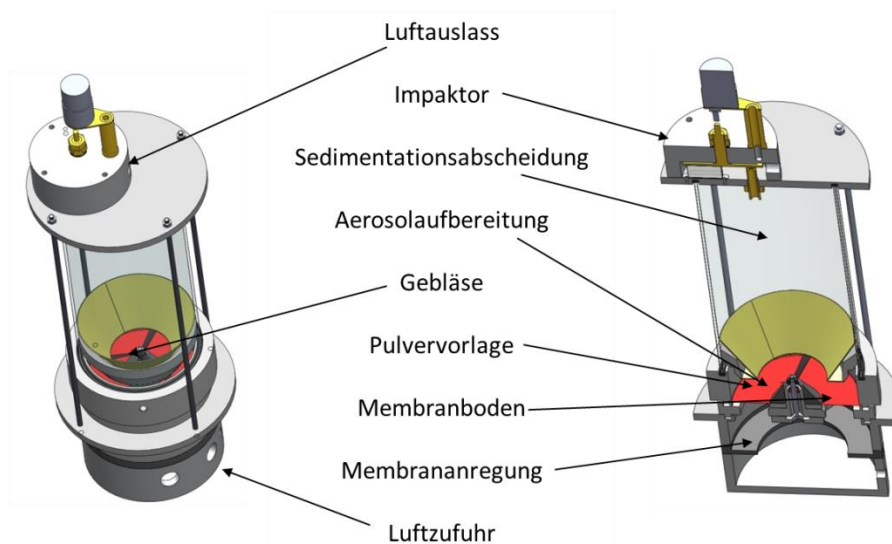


Abb. 1: Aufbau des Partikelgenerators

Die Partikelanregung erfolgt mechanisch durch einen akustisch erregten Membranboden, auf dem sich eine ausreichend große Pulvervorlage befindet. Die akustische Anregung erfolgt über einen Lautsprecher, der mit einem Rechtecksignal gespeist wird. Durch diese Signalform ergeben sich für das anregende Frequenzspektrum Oberwellen, die eine breitbandige Anregung der Membran gewährleisten. Dadurch wird die Ablagerung von Pulver an Schwingungsknoten reduziert.

Oberhalb des Membranbodens befindet sich ein Gebläse, das einen internen hohen Luftstrom erzeugt, der im Partikelgenerator zirkuliert. Dieser Luftstrom stabilisiert eine Wirbel-

strömung, die sich durch einen Konus vertikal nach oben bewegt. Durch einen Konus wird der Wirbel stabilisiert und es erfolgt eine erste Abscheidung großer Partikel.

Im darüber liegenden Teil des Partikelgenerators werden durch Sedimentation weitere große Partikel abgeschieden. Am Auslassstutzen des Partikelgenerators befindet sich eine weitere Abscheideeinrichtung. In Abbildung 1 ist die Bauform mit einer Impaktorabscheidung dargestellt.

In einer weiteren Variante wurde die Abscheidung mit Hilfe eines Mikrozyklones erprobt. Diese wurde letztlich dann verwendet.

Die Einsatzanforderungen waren für beide Abscheideprinzipien gleich:

Grenzkorndurchmesser: $D_{50} = 0,5 \mu\text{m}$

Volumenstrom Luft: $\dot{V} = 2 \text{ Liter/min}$

4. Partikelabscheidung

4.1 Impaktor

In einem Impaktor werden Partikel durch die in einer starken Umlenkung des Luftstromes entstehenden Fliehkräfte abgeschieden. Dadurch kann das Partikelgrößenspektrum zugunsten des Anteils kleiner Partikel verändert werden. Der in Abbildung 2 dargestellte Impaktor zeigt eine typisch geformte Impaktordüse.

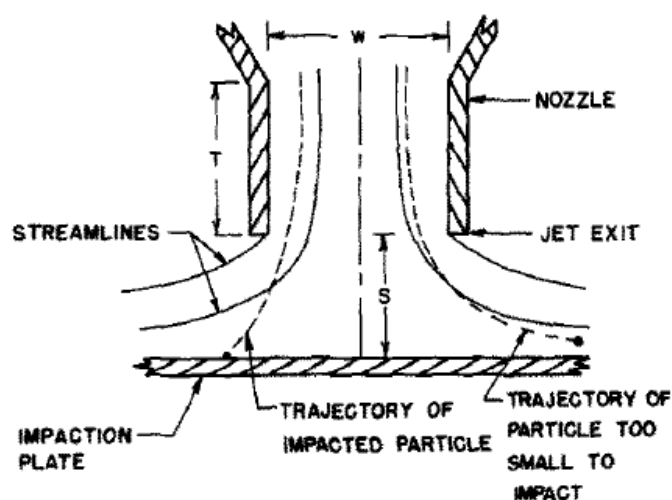


Abbildung 2: Stromlinien und Partikeltrajektorien in einem typischen Impaktor
[MARPLE, 1976]

Die Düsenlänge T und der Düsendurchmesser W sollten ein Verhältnis von $\frac{T}{W} \geq 1$ haben, um den Partikeln genügend Zeit zu geben, sich in der Strömung auszurichten. Bei geometrisch runden Impaktoren wird das Verhältnis vom Plattenabstand S zum Düsendurchmesser W mit $\frac{S}{W} = 1$ angegeben [MARPLE, 1976]. Bei Beachtung dieser geometrischen Verhältnisse ist die Reynolds Zahl der führende Parameter bei der Festlegung der Grenzpartikelgröße des Impaktors. Die Grenzpartikelgröße ist definiert als die Partikelgröße, die noch zu 50 % abgetrennt werden kann. Im vorliegenden Fall ist das Ziel, einen Grenzkorndurchmesser von $0,5 \mu\text{m}$ zu erreichen.

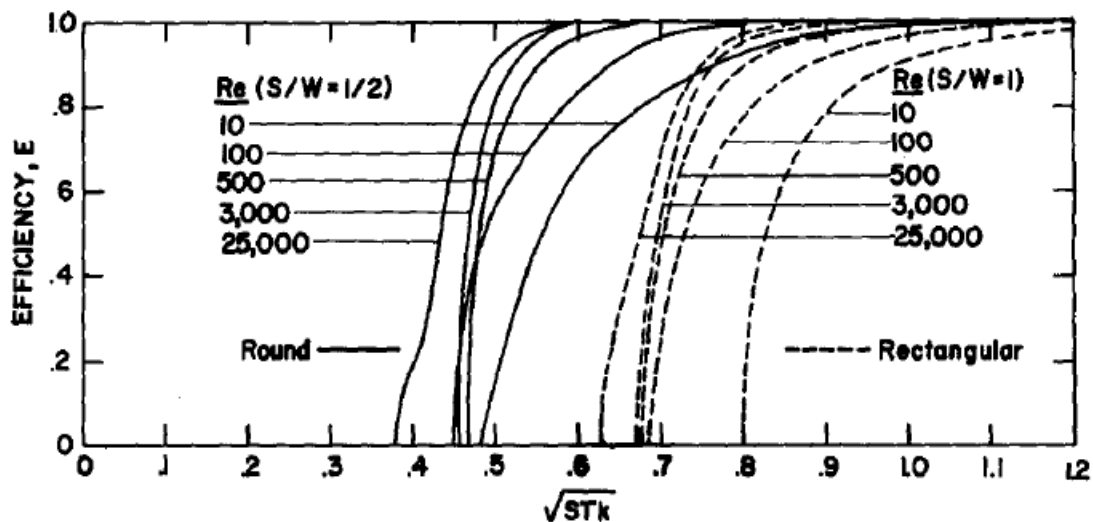


Abbildung 3 1: Abscheiderate für runde und rechteckige Impaktoren [MARPLE,1976]

Die Reynolds Zahl ist abhängig vom Düsendurchmesser, die Stokes Zahl wird über den Partikeldurchmesser definiert. Die Stokes Zahl

$$Stk = \frac{\rho_p * V_0 * C * D_p^2 / 18\mu}{W/2},$$

ρ_p : Partikeldichte $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

C : Cunninghamfaktor

V_0 : mittlere Geschwindigkeit am Düseneinlass $\left[\frac{m}{s}\right]$

D_p : Partikeldurchmesser $[m]$

μ : dynamische Viskosität $[Pas]$

ist definiert als das Verhältnis des Anhalteweges eines Partikels zur Hälfte des Düsendurchmessers. Bei näherer Betrachtung der Kurven ist zu erkennen, dass bei $Re = 500$ und $Re = 3000$ die besten Ergebnisse erzielt werden. Die schlechten Abscheideraten bei niedrigeren

Reynolds Zahlen lassen sich auf eine dicke Grenzschicht im Auslassbereich der Düse zurückführen. Es sollte also darauf geachtet werden, dass die Reynolds Zahl größer 500 ist.

Ein weiterer Einfluss auf die Abscheiderate ist die Anzahl der Düsen, die in einer Impaktorstufe verbaut werden. Der Zusammenhang zwischen der Düsenanzahl und der Reynolds Zahl wird über die mittlere Geschwindigkeit V_0 hergestellt. Die mittlere Geschwindigkeit V_0 ergibt sich zu

$$V_0 = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{4\dot{V}}{\pi W^2 n} \quad \begin{array}{l} \dot{V}: \text{Volumenstrom} \\ n: \text{Anzahl der Düsen} \end{array}$$

Diese wird nun in die Reynolds Zahl und die Stokes Zahl eingesetzt:

$$Re = \frac{\rho V_0 W}{\mu} = \frac{4\rho\dot{V}}{\mu\pi W^2 n}$$

$$Stk_{50} = \frac{4\rho_p \dot{V} C D_{50}^2}{9\pi n \mu W^3}$$

Stk_{50} und D_{50} werden direkt als Werte bei 50% der Abscheidungseffizienz definiert. Mit Gleichsetzen der Reynolds Zahl und der Stokes Zahl über den Düsendurchmesser W erhält man die Gleichung

$$\dot{V} = \frac{\pi}{12} \left(\frac{\rho_p}{Stk_{50}} \right)^{1/2} * \left(\frac{Re}{\rho} \right)^{3/2} n \mu \sqrt{C} D_{50}$$

Unter den Annahmen, dass die Partikeldichte konstant ist und die Strömung unter Normbedingung stattfindet, kann dieser Zusammenhang grafisch wie in Abbildung 4 gezeigt dargestellt werden.

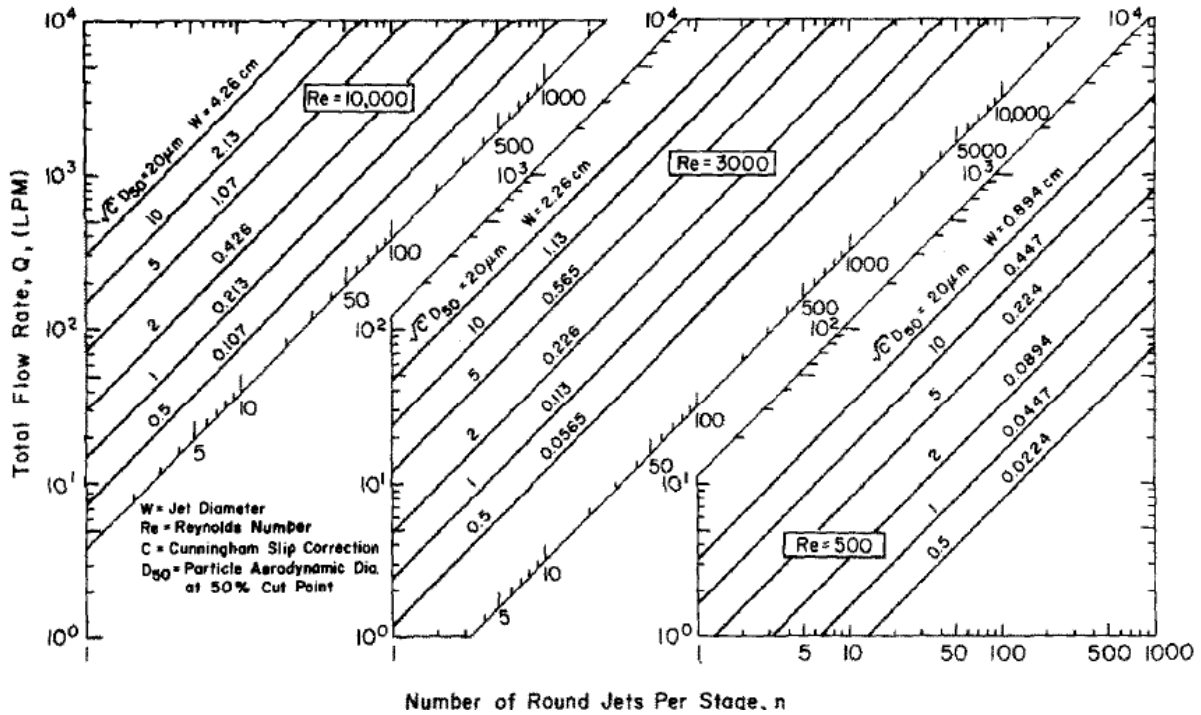


Abbildung 4:: Grafik zur Auslegung von runden Impaktoren, Partikeldichte $\rho = 1 \frac{g}{cm^3}$ [MARPLE, 1976]

Für den vorliegenden Anwendungsfall wurde ein Düsendurchmesser von 1,3 mm gewählt. Der Vordruck der Düse ermöglichte eine Strömungsgeschwindigkeit von ca. 30 m/s. Damit konnte der Impaktor im gewünschten Reynolds-Zahl Bereich betrieben werden.

Die Erprobungen ergaben zwar angenähert die gewünschte Abscheidung, die Handhabung der Mechanik erweis sich allerdings als zu aufwendig, da die Impaktorscheibe ständig gereinigt werden muss. Dazu sind eine gesonderte Antriebsvorrichtung und eine Reinigungsmechanik erforderlich.

Aus diesem Grund wurde alternativ eine Abscheidetechnik angewendet, die im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

4.2 Zyklon

Da das Funktionsprinzip des Impaktors eine Möglichkeit erfordert, die Impaktorfläche ständig zu reinigen um Verschleppungen zu verhindern, wurde ein mechanisch einfacheres Verfahren zur Partikelabscheidung erprobt.

Aus der Verfahrenstechnik sind Zyklonabscheider als ein etabliertes Verfahren bekannt. Die Auslegungsvorschriften zur Ermittlung der jeweils geeigneten Geometrie sind allerdings für große Reynolds-Zahlen ausgelegt, da die verwendeten Geometrien durch große Abmessungen gekennzeichnet sind.

Im vorliegenden Fall ergibt sich aufgrund des kleinen Volumenstromes eine Geometrie mit unüblich kleinen Abmessungen. Aus diesem Grund wurde die Funktionsfähigkeit mit Hilfe von Strömungssimulationen überprüft. Die simulierten Geometrien zeigt Abbildung 5:

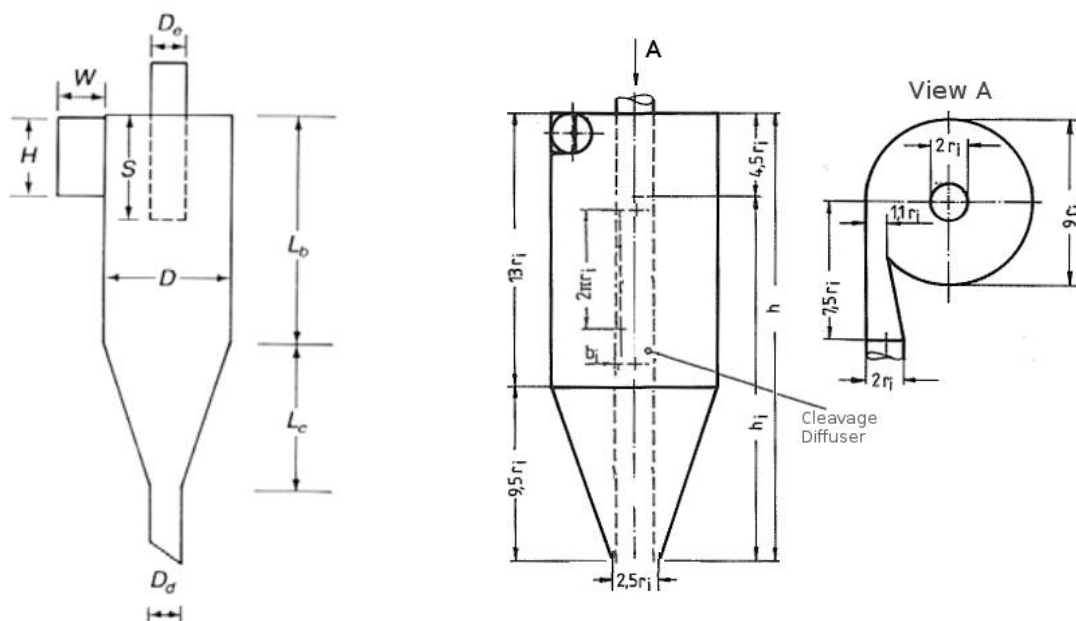


Abbildung 5: Untersuchte Zyklontypen, Standardzyklon (links), Tauchrohrzyklon (rechts) [SCHULZ, 1985]

Aus Simulationen ergab sich, dass der Tauchrohrzyklon hinsichtlich des Abscheidevermögens bei gleichem Druckverlust grundsätzlich leistungsfähiger ist als der Standardzyklon. Es zeigte sich jedoch, dass aufgrund der geringen erforderlichen Strömungsquerschnitte der Tauchrohrzyklon sehr schnell verstopfte. Zur Veranschaulichung der Abmessungen wird darauf hingewiesen, dass sich für den Abscheidebereich des Zyklons Außendurchmesser von ca. 10 mm und für die Zu- und Ableitungen typische Inndurchmesser von 3 mm erge-

ben. Wird eine Tauchrohrzyklon verwendet, treten am Einlauf in das Tauchrohr typische Abmessungen von 0,5 mm auf.

Die Erprobungen des Partikelgenerators erfolgten mit einem standardisierten Teststaub der Firma DMT mit der Produktbezeichnung Dolomit 10. Es handelt sich dabei um ein ungiftiges mineralisches Pulver mit definierter Korngrößenverteilung.

5. Erprobungsergebnis

Die Erprobungen ergaben, dass grundsätzlich alle Abscheideverfahren an die Anforderungen des Prüfverfahrens angepasst werden können. Unterschiede ergaben sich jedoch hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit aufgrund der Handhabung und der Langzeitstabilität der Abscheideverfahren.

Einen Vergleich zwischen den Abscheideverfahren gibt die Abbildung 6.

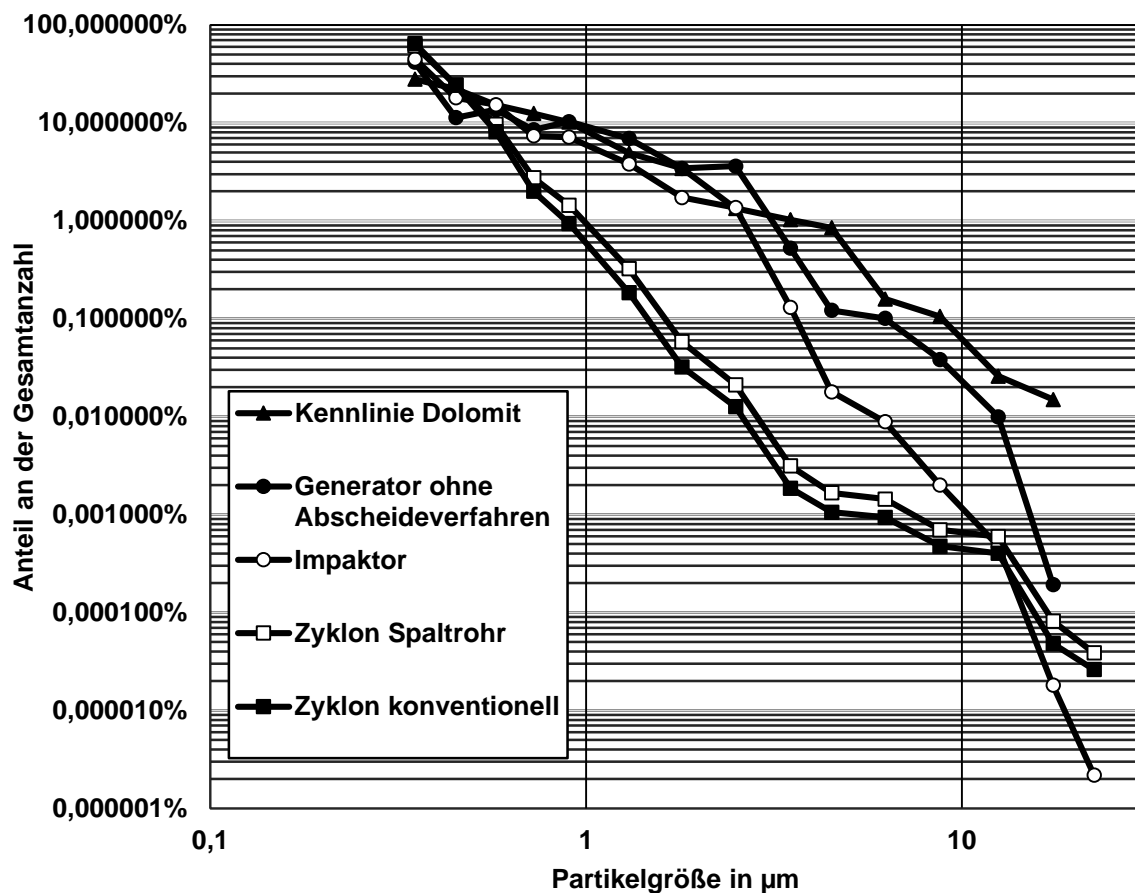


Abb. 6: Partikelgrößenspektren nach der Abscheidung

Der Vergleich der Kurven zeigt deutlich, dass mit den Zyklonverfahren die besten Abscheidungen erreicht werden. Aufgrund der Leistungsfähigkeit und der einfachen Handhabung wurde die Abscheidung über einen konventionellen Zyklon gewählt. Die Darstellung zeigt weiterhin, dass ohne Abscheidung durch Koagulation das ursprüngliche Partikelgrößenpektrum zu größeren Partikeln verschoben wird (siehe Abb. 6, Partikelgrößenbereich 1 – 2 μm). Aus diesem Grund ist eine elektrostatische Konditionierung der Partikel im Partikelgenerator erforderlich.

Zur Stabilisierung der Ausbringungsrate wurde weiterhin ein Regelkreis installiert, der über eine optische Messstrecke integral die Partikeldichte im Abluftstrom des Partikelgenerators misst und entsprechend die Amplitude der akustischen Anregung nachregelt.

6. Prüfverfahren

6.1 Messung der Partikelbelastung in der wandnahen Strömung

Das Prüfverfahren wurde in Anlehnung an die bestehenden Prüfnormen definiert. Die Partikelemission erfolgt an einer Position, die relativ zur Fensteröffnungsebene definiert wird, siehe Abb. 7. Der mit Partikeln durchsetzte Luftstrom von 2 l/min wird senkrecht nach unten emittiert, um die entsprechende Freisetzung bei Handhabung von pulverförmigen Substanzen im Abzug zu simulieren. Die Ausströmöffnung hat einen Durchmesser von 4 mm. Daraus ergibt sich eine mittlere Ausströmgeschwindigkeit von 2,5 m/s.

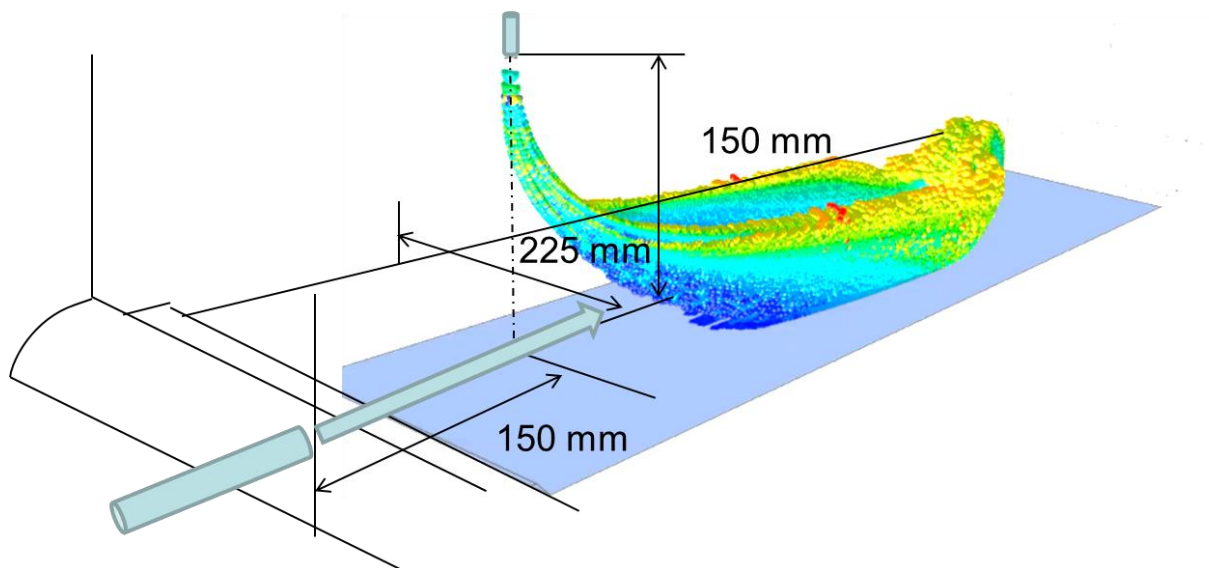


Abb. 7: Prüfanordnung zur Messung der Partikelkonzentration in Wandnähe

Eine Absaugsonde wird in Strömungsrichtung so positioniert, dass sie sich genau stromabwärts vom Emissionsort befindet. Der dort abgesaugte Volumenstrom wird in einem Partikelzähler analysiert. Als Referenzpartikel dienen Partikel der Größenklasse $0,35\ \mu\text{m}$. Siehe dazu Abbildung 8.

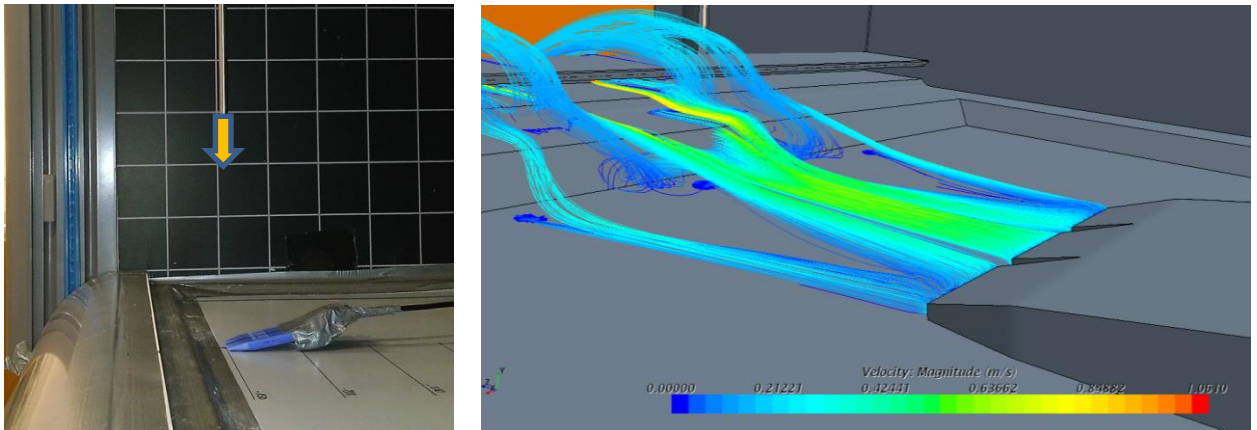


Abb. 8: Positionierung der Partikelsonde

Das Ergebnis zeigt im Vergleich die Abbildung 9 für verschiedene Messpositionen in Strömungsrichtung hinter der Emission.

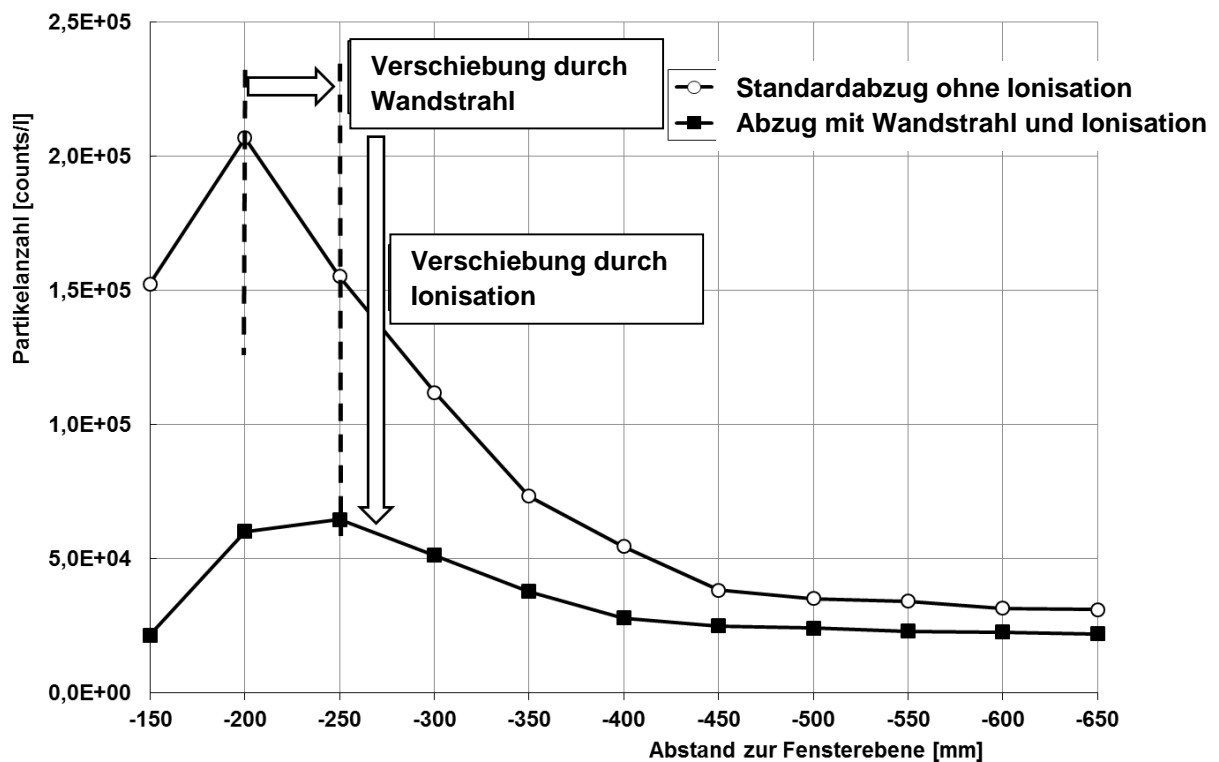


Abb. 9: Messung der Partikelkonzentration in Wandnähe für eine Partikelgröße von $0,35\ \mu\text{m}$

Das Prüfverfahren weist den Effekt der Ionisation eindeutig nach.

Es zeigt sich weiterhin, dass mit dieser Vorgehensweise die Partikelbelastung der wandnahen Strömung in einem Abzug eindeutig nachgewiesen werden kann. Dies ist mit der bisher verwendeten SF₆-Methode nicht möglich.

In einer Serienprüfung genügt die vergleichende Messung der Partikelbelastung in Wandnähe an einer signifikanten Stelle in der Strömung in der Nähe der Arbeitsplattenoberfläche. Aus praktischen Gründen bieten sich hier Positionen zwischen 200 mm und 250 mm hinter der Fensterebene an.

Die Messung erfolgt somit an einer Referenzposition, an der die Partikelkonzentration der Luftströmung in Wandnähe bei einer konventionellen Abzugsdurchströmung ohne Wandstrahl und bei einer Strömung mit Wandstrahl durchgeführt wird.

6.2 Messung der Ausbrüche zur Bestimmung des Rückhaltevermögens

Die Messung der Ausbrüche aus dem Abzugsinnenraum erfolgt in einem Prüfaufbau, der direkt aus dem in 6.1 beschriebenen Verfahren abgeleitet wird. Bei dieser Messung erfolgt die Partikelemission in horizontaler Richtung entgegen der Abzugseinströmung. Der Volumenstrom der Emission und die Partikelgröße bleiben dabei gleich. Die Absaugsonde wird stromaufwärts gegenüber der Emission in der Fensterebene und auf gleicher Höhe positioniert. Die Prüfanordnung zeigt Abbildung 10:

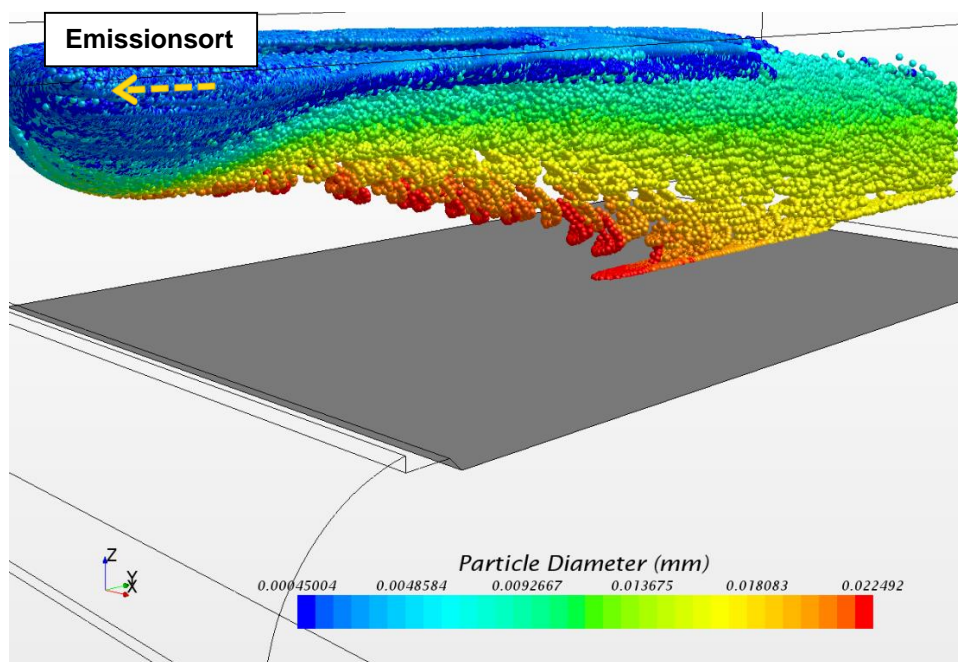


Abbildung 10: Prüfanordnung zur Messung des Rückhaltevermögens

In dieser Anordnung können zwei Messungen durchgeführt werden:

1. Die Ermittlung des minimalen Volumenstroms der Abluft, bei dem in einer Referenzebene in der Arbeitsöffnung (z. B. Fensterebene) keine Ausbrüche mehr detektiert werden. Diese Messung ermittelt das stationäre Rückhaltevermögen. Werden keine Emissionen außerhalb der Fensteröffnungsebene gemessen, gilt die Rückhaltung als erfüllt.
2. Die Ermittlung der Emissionen bei einer dynamischen Störung des Strömungsfeldes vor dem Abzug (Robustheitstest). Diese Messung ermittelt das instationäre Rückhaltevermögen. Klingen die detektierten Emissionen innerhalb des durch das bestehende Prüfverfahren vorgegebenen Zeitraums ab, gilt die Rückhalteanforderung als erfüllt.

Beispiele zur Ermittlung des Ausbruchsverhaltens zeigen die folgenden Abbildungen.

In der Versuchsreihe wurde bei drei Positionen für die Emission und die Probennahme der Absaugvolumenstrom des Abzuges verändert. Die Wahl der Messpositionen erfolgte in Anlehnung an die Prüfnorm DIN EN 15175-3, die sich als geeignet zur Überprüfung des Rückhaltevermögens von Laborabzügen erwiesen hat. Insbesondere in den Ecken der Arbeitsöffnung treten durch Strömungsablösungen Rückströmungen auf, die Schadstoffe in Richtung der Fensterebene und des Anwedenders transportieren können.

Die Messpositionen wurden wie folgt gewählt:

Messposition	Abstand Seitenwand	Abstand Arbeitsplatte
A	30 mm	30 mm
B	30 mm	230 mm
C	230 mm	230 mm

Siehe dazu auch Abbildung 11:

Messpositionen

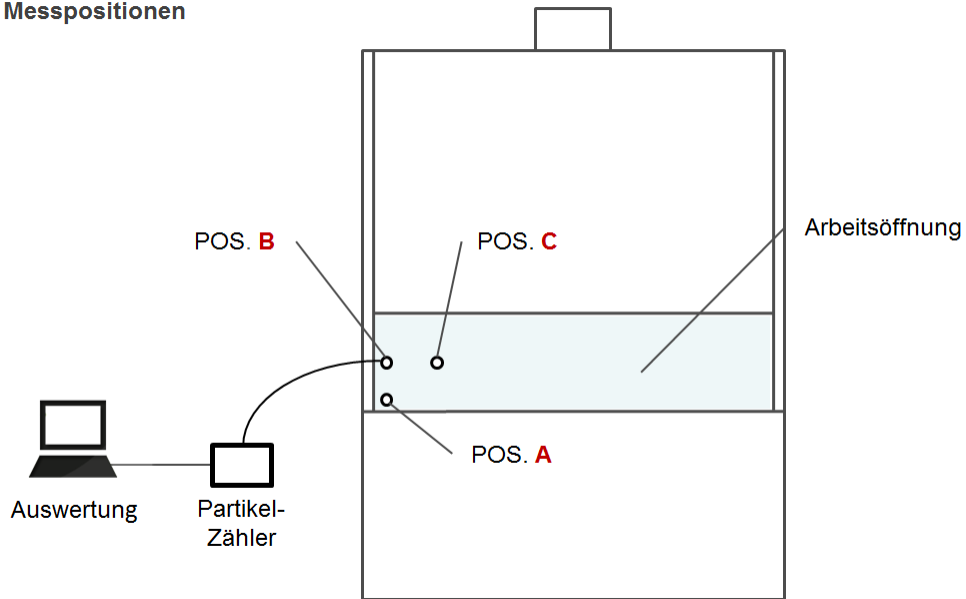


Abbildung 11: Anordnung der Messpositionen bei der Ermittlung des Rückhaltevermögens

Die Koordinate legt die Position von Emission und Probennahme fest, da sich diese fluchtend gegenüberstehen. Siehe dazu Abbildung 12.

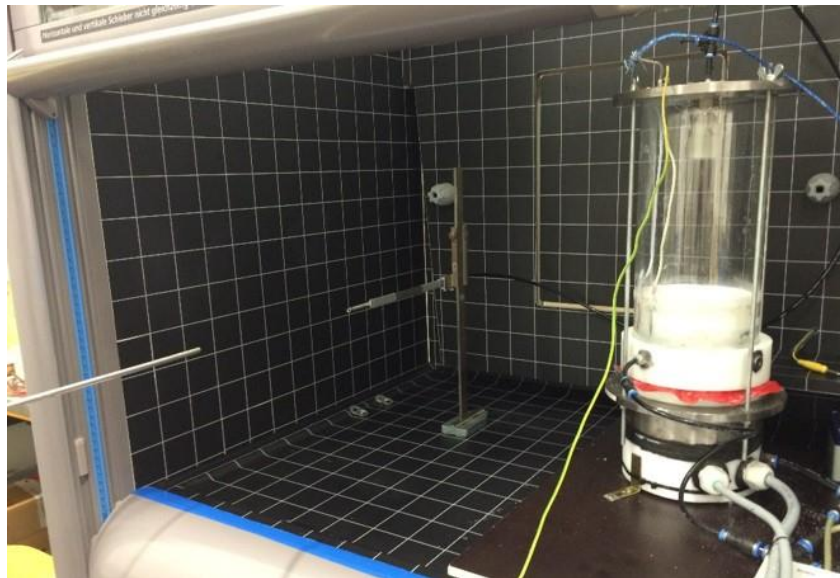


Abb. 12: Positionierung der Emission und der Probenahme/Absaugung im Abzug (rechts im Bild: Partikelgenerator)

Während der Messung wurde der Abluftvolumenstrom schrittweise reduziert. Das Ergebnis der Messreihen zeigt Abbildung 13:

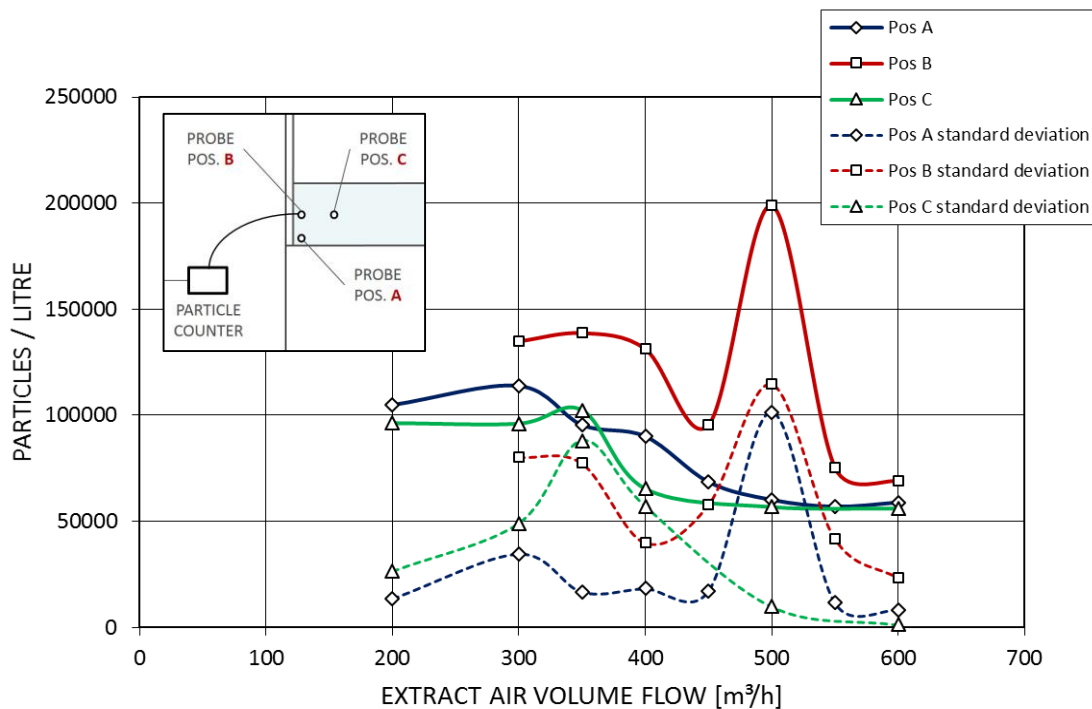


Abb. 13: Messung der Partikelaustritte bei einem Standardabzug mit 1500 mm Breite

Die Messungen zeigen deutlich die Unterschiede in der Partikelaustritt an den verschiedenen Messorten. Das Tischkantenprofil wird ohne Ablösung umströmt, daher treten dort keine wesentlichen Emissionen auf. Das Gleiche gilt für die Messposition C. An der Position B zeigt sich deutlich der Einfluss lokaler Ablösungen an der Seitenwand des Abzuges.

Weitere wichtige Einblicke in das Strömungsbild und die damit verbundene Ausbreitung der Partikel gibt die Betrachtung der Standardabweichung der Partikelemissionen. In der Nähe des kritischen Abluftvolumenstromes wird die Einströmung instabil, die gemessene Partikelkonzentration beginnt stark zu schwanken. Unterhalb des kritischen Abluftvolumenstromes werden die Schwankungen wieder geringer, da jetzt eine gleichmäßig starke Emission von Partikeln in die Umgebung stattfindet. Damit gibt das Partikelmessverfahren den in der SF6-Methode ermittelten kritischen Absaugvolumenstrom exakt wieder.

Die Messung verdeutlicht einen weiteren Vorteil des Messverfahrens gegenüber der bisher verwendeten SF6-Messung. Die Rohmesswerte (Partikelanzahl / Liter) liegen weit über der Nachweisgrenze des Partikelzählers. Damit ergibt sich hinsichtlich der Kalibrierung des Messverfahrens und der Eingrenzung von Störeinflüssen durch die Umgebung eine signifikant einfachere Vorgehensweise beim Messablauf. Die in der Umgebung vorhandene Grundbelastung wird zunächst ermittelt. Dann wird der Volumenstrom verändert. Auf-

grund der hohen Partikelkonzentration der Emissionsquelle ergibt sich ein eindeutiges Signal bei Erreichen der Stabilitätsgrenze der Abzugseinströmung.

Eine weitere Messreihe verdeutlicht die Wandfreihaltung von Partikeln im Fall eines Abzuges mit ionisierten Wandstrahlen. Siehe dazu Abbildung 14:

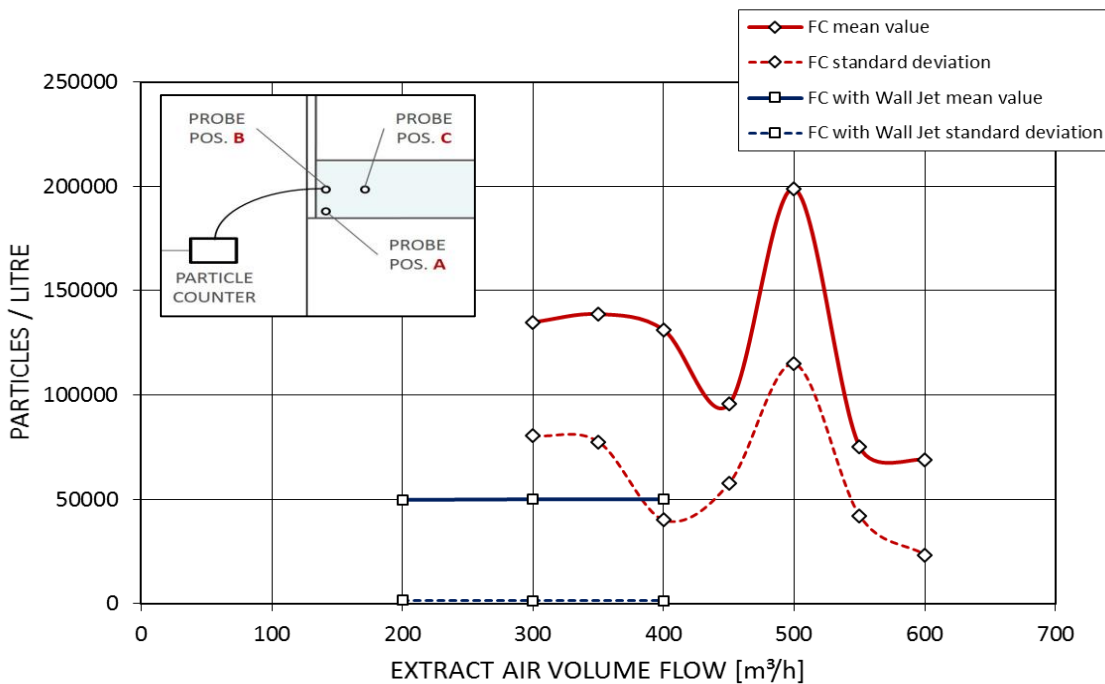


Abb. 14: Vergleich der Wandfreihaltung zwischen einem Standardabzug und einem Abzug mit Wandstrahlen

Die Messung am Abzug mit Wandstrahl wurde nur für kleine Abluftvolumenströme durchgeführt, da bei größeren Volumenströmen keine Änderungen des Verhalten zu erwarten war. Der Vergleich der beiden Messungen zeigt, dass durch die Wandstrahlen eine erhebliche Reduzierung der Wandbelastung erreicht werden kann.

7. Zusammenfassung

Es wurde ein Messverfahren entwickelt, das folgende Anforderungen erfüllt:

- Ersatz des üblichen Prüfverfahrens basierend auf einer SF₆-Messung
- Ermittlung der Partikelemissionen aus einem Abzug
- Nachweis der wandnahen Konzentrationen von Partikeln
- Messsignal hoher Signifikanz

Die Vergleichbarkeit des Messverfahrens mit bestehenden Prüfmethoden wurde experimentell nachgewiesen. Die erforderliche Prüftechnik wurde in Form eines Funktionsmusters erstellt und erprobt. Ausgehend vom Funktionsmuster kann jetzt eine Serienlösung für den Partikelgenerator entwickelt werden.

Waldner Laboreinrichtungen hat den neu entwickelten Laborabzug für staubförmige Substanzen Secuflow IONIC im Juni 2015 auf der ACHEMA präsentiert und ist auf großes Interesse der internationalen Messebesucher gestoßen. Um den Abzug vermarkten zu können, muss sein Leistungsvermögen quantifiziert werden und dazu wird das im vorliegenden Projekt entwickelte Prüfverfahren benötigt.

Anlässlich des ACHEMA-Kongresses wurde der aktuelle Entwicklungsstand des Prüfverfahrens in einem Vortrag von J. Liebsch vorgestellt.

Die Hochschule Esslingen (Prof. Dr.-Ing. Ulrich Gärtner) und Juergen Liebsch – *Forschung und Entwicklung* sind von Waldner beauftragt, das Entwicklungsprojekt weiter zu begleiten, insbesondere zu den Themen:

- Durchführung von Feldtests bei ausgewählten Waldner-Kunden
- Neuaufbau und Standardisierung der Partikel-Prüfeinrichtung an der Hochschule Esslingen und Ausarbeitung einer Normvorlage
- Vergleichende Messungen Partikel/Spürgas (EN 14175) im Prüfraum Waldner/Wangen
- Integration der bewilligten Forschungsmittel vom BMWI/DIN in das Entwicklungsprojekt
- Konzeption und Entwicklung eines modularen Filterkonzepts zur Erfassung von Stäuben, integriert in die Rückwand des Abzugs.

8. Literaturverzeichnis

NIEDBALLA, S., 1999:

Dispergierung von feinen Partikelfractionen in Gasströmungen - Einfluss von Dispergierbeanspruchung und oberflächenmodifizierenden Zusätzen, Diss., TU Bergakademie Freiberg

MARPLE, V. A., WILLEKE, K., 1976:

Impactor design, Atmospheric Environment Vol. 10. pp. 891-896, Great Britain,

SCHULZ, S., 1985:

Zyklonabscheider mit Spalt-Diffusor - Tauchrohr in der Trennfläche zur Reduzierung des Druckverlustes und Verbesserung des Abscheidevermögens, Diss., Universität Gesamthochschule Essen

9. Anhang

9.1 Datenblatt Teststaub

