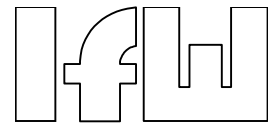


Universität Stuttgart  
Institut für Werkzeugmaschinen  
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. U. Heisel



# Diplomarbeit

cand. tp. Markus Stahl  
Matrikelnr.: 1695537

---

## **Staubausbreitungsuntersuchung in einer Messkabine nach DIN 33891**

---

Betreuer:  
Dipl.-Ing. Jürgen Fronius

Stuttgart, Juni 2000

## Abstract

The following study – analysis of dust **particle** spreading in a cabin according to DIN 33891 - is part of a project of the EC for the **standardization** of dust measurements during the **emission** through electrical tools. The objective of the project is to prepare the ground for the possibility to execute measurements in the channel of a cabin according to DIN 33891 in the future. Therefore it is necessary to understand the relation between the collected dust volume in the channel and the dust volume which is emitted in the cabin.

In the examinations done, four different aerosols containing previously defined dusts are emitted in the cabin. For each of them this takes place at three different altitudes. Furthermore two different suction speeds apply as conditions for the measurements.

Finally the results are presented and discussed in regard to the development of an optimised dust measurement process.

Die vorliegende Arbeit – Staubaubreitungsuntersuchung in einer Messkabine nach DIN 33891 - ist Teil eines EU-Projekts zur Normung von Staubmessungen bei Emission durch Elektrowerkzeuge. Zielsetzung des Projektes ist es, eine Basis zu schaffen, um Staubmessungen zukünftig im Kanal einer Messkabine nach DIN 33891 durchführen zu können. Dafür muss der Zusammenhang zwischen der erfassten Staubmasse im Messkanal und der in der Kabine ausgebrachten Staubmasse bekannt sein.

In den durchgeführten Versuchen werden vier verschiedene Aerosole aus vorgegebenen Stäuben in der Kabine ausgebracht. Dies geschieht jeweils in drei unterschiedlichen Höhen. Darüber hinaus werden die Messungen mit zwei verschiedenen Absauggeschwindigkeiten durchgeführt.

Im Hinblick auf die Entwicklung eines optimierten Staubmessverfahrens werden die Ergebnisse abschließend dargestellt und diskutiert.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Titelblatt</b>	
<b>Aufgabenblatt</b>	
<b>Abstract</b>	
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>8</b>
2.1 Gesundheitsgefährdende Wirkung von Staub	8
2.1.1 Rückblick	8
2.1.2 Begriffe und Definitionen	9
2.2 Maschinenstaubprüfung	10
<b>3 Ziel und Vorgehensweise</b>	<b>13</b>
<b>4 Aufbau und Betrieb der Versuchsanlage</b>	<b>15</b>
4.1 Versuchsaufbau	15
4.1.1 Messkabine nach DIN 33891	16
4.1.2 Darstellung von Versuchsaufbauten	18
4.2 Messdatenerfassung und –verarbeitung	24
4.3 Rahmenbedingungen	26
4.3.1 Parameter	27
4.3.2 Verwendete Stäube	28
<b>5 Voruntersuchungen</b>	<b>31</b>
5.1 Staubquelle	31
5.2 Staubmesskabine	33
5.3 Filter	34

<b>6</b>	<b>Darstellung und Diskussion der Messergebnisse</b>	36
6.1	Staubausbreitungsverhalten in der Messkabine	36
6.2	Staubausbreitungsverhalten im Anlagentunnel	37
6.3	Diskussion der Ergebnisse in Abhängigkeit von den Parametern	40
6.3.1	Ausbringungshöhe	40
6.3.2	Absauggeschwindigkeit	44
6.3.3	Partikelgröße	46
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	54
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	55
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	

# Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 2.1: Wahrscheinlichkeit der Gesamtstaubzusammensetzung	10
Abb. 2.2: Staubprobenahmegerät Gravikon VC 25	12
Abb. 3.1: Abstand der Messstelle zum Tunnelende	13
Abb. 4.1: Prinzipieller Aufbau des Versuchsstandes	15
Abb. 4.2: Abmessungen der Kabine	16
Abb. 4.3: Messkabine nach DIN 33891	17
Abb. 4.4: Fenster im Messkanal	18
Abb. 4.5: Feststoffdispergierer RGB – 1000	29
Abb. 4.6: Strahldüse im Messkanal	20
Abb. 4.6: Filtereinheit im Tunnel	20
Abb. 4.7: Filterkopf: Abstand der Trichteröffnung zur Aufnahme	21
Abb. 4.8: Neuer Trichter für Absaugung in strömender Luft	21
Abb. 4.9: Venturidüse in der Absaugung der Filter	22
Abb. 4.10: Aufnahme für die Venturidüse	22
Abb. 4.11: Deckel der Düsenaufnahme	23
Abb. 4.12: Gehäuse Der Düsenaufnahme	23
Abb. 4.13: Aufbauten auf der Kanaloberseite	23
Abb. 4.14: Einzelteile des Filterkopfes; wechselbare Ansaugtrichter	25
Abb. 4.15: Wiegen eines kompletten Filterkopfes	26
Abb. 4.16: Wechselbare Ansaugtrichter der Filtereinheit	28
Abb. 4.17: Partikelgrößenverteilung F280	29
Abb. 4.18: Partikelgrößenverteilung F400	29
Abb. 4.19: Partikelgrößenverteilung F600	29
Abb. 4.20: Partikelgrößenverteilung F1200	29
Abb. 4.21: Dichte der verwendeten Stäube	30
Abb. 5.1: Reststaub in der Bürste der Vergleichsstaubquelle	31
Abb. 5.2: Schwankung des Reststaubes in der ungereinigten Bürste	32
Abb. 5.3: Schwankung des Reststaubes in der gereinigten Bürste	32
Abb. 5.4: Geschwindigkeitsprofil in der Staubmesskabine	34
Abb. 5.5: Filtermassenänderung nach einer Leermessung	35

Abb. 6.1:	Staubquellenbereich in der Messkabine	36
Abb. 6.2:	Gesamtmassenverteilung	37
Abb. 6.3:	Massenverteilung F 280	38
Abb. 6.4:	Staubverteilung an Messpunkt 1	39
Abb. 6.5:	Massenverteilung F 1200	39
Abb. 6.6:	Staubmassenverteilung bei 75 % Kabinenhöhe	41
Abb. 6.7:	Verteilung von F 280 bei niedriger Ausbringungshöhe	41
Abb. 6.8:	Staubmassenverteilung bei 50 % Kabinenhöhe	42
Abb. 6.9:	Prozentuale Staubverteilung bei verschiedenen Emissionshöhen	43
Abb. 6.10:	Staubmassenverteilung bei 25 % Kabinenhöhe	43
Abb. 6.11:	Staubmassenverteilung bei Absauggeschwindigkeit 0,25 m/s	45
Abb. 6.12:	Staubmassenverteilung bei Absauggeschwindigkeit 0,33 m/s	46
Abb. 6.13:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 280, h = 25 %	47
Abb. 6.14:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 280, h = 50 %	48
Abb. 6.15:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 280, h = 75 %	48
Abb. 6.16:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 400, h = 25 %	49
Abb. 6.17:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 400, h = 50 %	49
Abb. 6.18:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 400, h = 75 %	50
Abb. 6.19:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 600, h = 25 %	50
Abb. 6.20:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 600, h = 50 %	51
Abb. 6.21:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 600, h = 75 %	51
Abb. 6.22:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 1200, h = 75 %	52
Abb. 6.23:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 1200, h = 25 %	52
Abb. 6.24:	Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 1200, h = 50 %	53

## 1 Einleitung

Beim Zerspanen von Holz und Holzwerkstoffen wird gesundheitsgefährdender Holzstaub erzeugt und freigesetzt. Bei stationären Maschinen und Anlagen in der Holzbearbeitung stellt die Absaugung der Späne und des Staubes im allgemeinen kein größeres Problem dar. Schwierigkeiten treten dann häufiger bei handgeführten Elektrowerkzeugen auf, deren Emission oftmals die erlaubte Staubkonzentration in der Atemluft überschreitet. Auf die

Einhaltung des vom Gesetzgeber für alle Holzbearbeitungsmaschinen vorgeschriebenen oberen Grenzwertes für die Technische Richt-Konzentration (TRK-Wert) von  $2 \text{ mg/m}^3$  muss unbedingt geachtet werden. Der Grund hierfür sind karzinogene Krankheiten, die von Holzstaub in der Atemluft ausgelöst werden können, sowie die vermehrt auftretenden allergischen Reaktionen bei den mit Holzstaub in Berührung kommenden Menschen. Um eine europaweit gültige Norm festzulegen und dadurch die Vereinheitlichung und Vergleichbarkeit der Staubmessungen bei Emission durch Elektrowerkzeuge zu erreichen sind die Rahmenbedingungen, die Mess- und auch die Auswertungsverfahren bei den beteiligten fünf Institutionen aus zu untersuchen, optimieren und anzugleichen.

Um Umgebungseinflüsse abzuschirmen oder wenigstens zu reduzieren und um Staubkonzentrationen an den Maschinen auch unter ungünstigen Betriebsbedingungen ermitteln zu können erfolgt die reproduzierbare Prüfung in einer DIN 33891 entsprechenden Messkabine.

Da in dieser Kabine und im angrenzenden Tunnel das Staubausbreitungsverhalten und die Einflüsse der verschiedenen Parameter noch nicht geklärt ist, die Messungen der Einfachheit der Durchführung halber aber eben im Tunnel der Kabine stattfinden, wird der Zusammenhang zwischen den Rahmenbedingungen bei der Emission in der Messkabine und der tatsächlich erfassten Staubmenge an den Messstellen im Tunnel genauer untersucht.

## **2 Stand der Technik**

### **2.1 Gesundheitsgefährdende Wirkung von Staub**

#### **2.1.1 Rückblick**

In der Bundesrepublik Deutschland wurden Holzstäube lange Zeit als ungefährlich eingestuft. Zwar wurde der Staub von Maschinenbedienern als Belästigung empfunden, verursachte in manchen Fällen auch bei äußerlichem Kontakt Ekzeme an der Haut, jedoch dachte niemand an eine ernsthafte Beeinträchtigung der Gesundheit. Mitte der 80er Jahre wurde jedoch die Holzstaubproblematik sowohl bei den Herstellern als auch bei den Betreibern von Holzbearbeitungsmaschinen und Elektrowerkzeugen ein dominierendes Thema.

Schon in den 60er Jahren ergaben Auswertungen von Krebsstatistiken in England ein vermehrtes Auftreten von Adenokarzinomen der Nasenhaupt- und Nebenhöhlen bei Beschäftigten der Holzverarbeitenden Industrie. Dieser Zusammenhang, der in den 70er Jahren durch wissenschaftliche Arbeiten im Ausland (England, Belgien, Frankreich, Italien, Dänemark, Schweden, USA) bestätigt wurde, war Anfang der 80er Auslöser für eine entsprechende Studie der Holz-Berufsgenossenschaft und des Instituts für Arbeitsmedizin der Universität Erlangen in der Bundesrepublik Deutschland. Als Ergebnis der Studie wurde eine bedeutend höhere Adenokarzinomerkrankung bei langjähriger, beruflicher Holzstaubexposition festgestellt. Der Kontakt mit Buchen- und Eichenholzstäuben war hierbei in auffallend vielen Fällen festgestellt worden.

Infolge dieser Untersuchungsergebnisse wurden 1982 Holzstäube durch die zuständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsgefährdender Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) als B-Stoff mit begründetem Verdacht auf Tumorrisiko in die Liste der Maximalen-Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK-Wertliste) aufgenommen. Die Senatskommission nahm 1985 eine Differenzierung vor: Der Staub der Harthölzer Eiche und Buche wurde in die Kategorie III A1 der MAK-Wertliste als gesichert beim Mensch krebserzeugender Arbeitsstoff eingestuft, während die übrigen Holzstäube mangels eindeutiger Erkenntnisse in der Gruppe der Verdachtstoffe verblieben. Schließlich wurden 1987 die Technische Richtkonzentrationen (TRK-Werte) für Holzstäube festgelegt:  $2 \text{ mg/m}^3$  für Neuanlagen und  $5 \text{ mg/m}^3$  für Altanlagen. Mit der Verabschiedung der TRGS 533



Holzstaub (Gefahrstoffverordnung) im Juni 1992 ist seit dem 1.1.1993 nur noch der Grenzwert von  $2 \text{ mg/m}^3$  zulässig. Inzwischen wurden in den meisten Ländern TRK-Werte für Holzstaub festgelegt. Die mechanische Irritation durch die Partikel gilt jedoch nicht als Hauptwirkungsprinzip. Vielmehr stehen mittlerweile Sekundärstoffe (Hilfsstoffe, die bei der Be- oder Verarbeitung von Holz eingesetzt werden), Metaboliten holzbesiedelnder Pilzarten und auch Stoffe die bei der Be- oder Verarbeitung von Holz durch Pyrolyse entstehen, im Verdacht krebsauslösend zu sein. Der Holzstaub selbst dient hierbei als Trägermaterial. Länderspezifisch gelten unterschiedliche Staubgrenzwerte und Staubmessverfahren. Dies soll sich zumindest in der Europäischen Union ändern.

### **2.1.2 Begriffe und Definitionen**

Stäube gehören zusammen mit Rauch und Nebel zu den Aerosolen. Ein Aerosol ist ein disperses System, dessen disperse Phase fest oder flüssig und dessen umgebendes Medium gasförmig ist. Beim Staub entsteht diese disperse Verteilung durch Aufwirbelung eines Feststoffes oder durch mechanische Prozesse.

Zur Beurteilung der Gesundheitsgefahren durch Staub werden neben der Staubkonzentration, der Expositionszeit und der Schadstoffwirkung auch die Partikelgröße berücksichtigt. Partikel, die größer als 0,5 mm sind, werden nicht mehr als Staub bezeichnet. Unter Gesamtstaub versteht man den Staubanteil, der von Probenahmegeräten mit einer Ansauggeschwindigkeit von  $1,25 \text{ m/s} \pm 10 \%$  erfasst wird. Hierbei wird die gesamte Staubfraktion berücksichtigt, die Lunge, Nasen- und Rachenraum belastet. Feinstaub gefährdet in erster Linie den Alveolarraum. Er umfasst ein Staubkollektiv, das ein Abscheidesystem passiert, welches in seiner Wirkung der theoretischen Trennfunktion eines Sedimentationsabscheiders entspricht. Der Sedimentationsabscheider soll Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von  $5 \text{ }\mu\text{m}$  zu  $50 \%$  abscheiden (nach Johannesburger Konvention 1959).

Die Verweildauer der Staubpartikel in der Luft hängt von deren Größe ab. Sehr kleine Staubpartikel brauchen in ruhender Luft sehr lange um auszusedimentieren. Diese kleineren Partikel gelangen beim Einatmen in den Tracheo-Bronchialraum und Alveolarraum der Lunge und werden dort zum Teil deponiert, größere Staubteilchen hingegen werden bereits im Nasen-, Rachen- und Kehlkopfraum durch Zentrifugalabscheidung angelagert. Der Staubanteil, der zwar ein- aber nicht mehr ausgeatmet wird, wird mit „total deponierter Staub“

bezeichnet. Die Inhalierbarkeit des Staubes nimmt mit kleiner werdender Partikelgröße zu. Partikel, die kleiner als  $100\ \mu\text{m}$  sind, belasten den Nasen-, Rachen- und Kehlkopfraum. Die Bronchien werden bei einer Partikelgröße unter  $10\ \mu\text{m}$ , die Alveolen (Lungenbläschen) bei einer Teilchengröße unter  $5\ \mu\text{m}$  gefährdet. Partikel unter  $0,5\ \mu\text{m}$  werden wieder ausgeatmet. Die Wahrscheinlichkeit der Zusammensetzung des Gesamtstaubes bezüglich des Durchmessers ist in der Abb. 2.1 zu sehen.

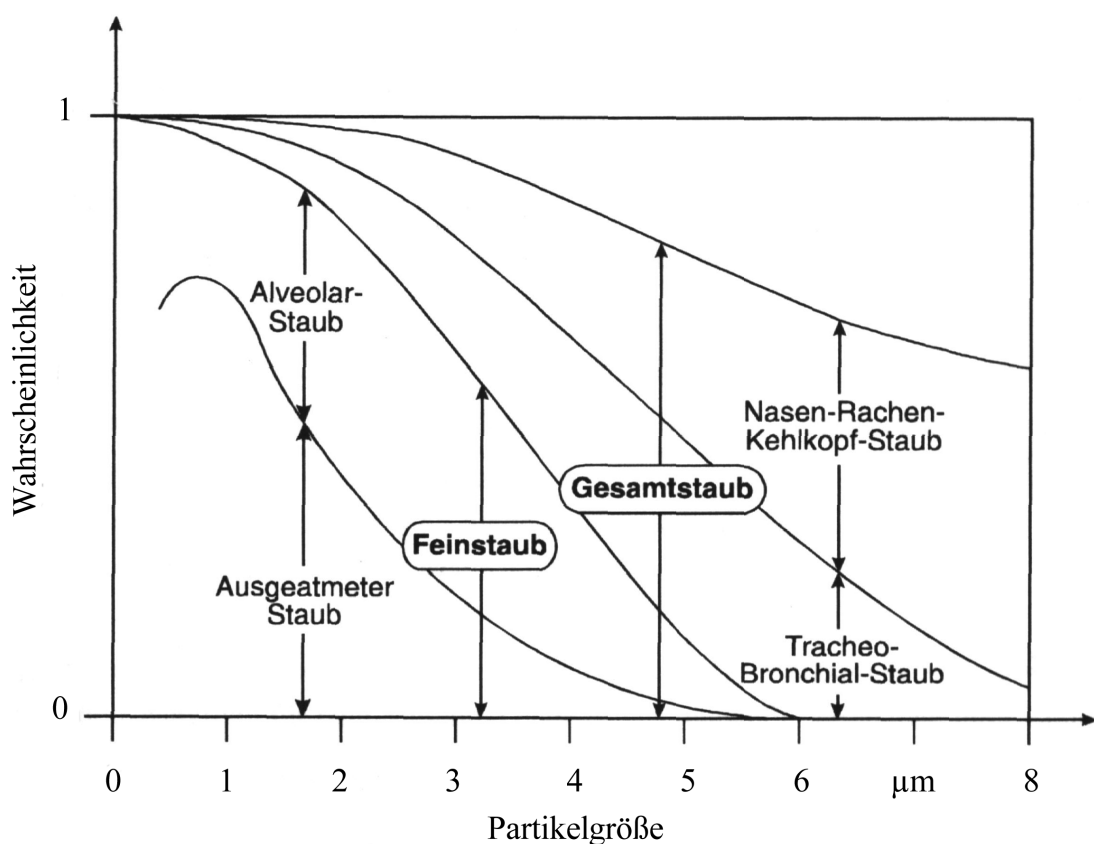


Abb. 2.1: Wahrscheinlichkeit der Gesamtstaubzusammensetzung

## 2.2 Maschinenstaubprüfung

Bei der Staubkonzentrationsmessung unterscheidet man zwischen Gesamtstaub und Feinstaub. Die TRK-Werte für Holzstaub beziehen sich auf den Gesamtstaub, dessen Teilchen vom Menschen eingeatmet werden und so in den Nasenbereich, den Rachen, den Kehlkopf,

und in den Tracheo-Bronchialraum vordringen können. Feinstaubpartikel dringen bis in Alveolarraum der Lunge vor.

Laut „Verfahren zur Bestimmung von Holzstaub“ [9] wird verlangt, daß zur Probenahme Staubsammelgeräte, die nach dem gravimetrischen Prinzip arbeiten, eingesetzt werden. Auch das Luftvolumen und die Ansauggeschwindigkeit von  $1,25 \text{ ms}^{-1} \pm 10 \%$  in horizontaler Richtung ist hier vorgeschrieben. Um die Staubmasse zu bestimmen wird das vom Luftstrom passierte Glasfaserfilter vor und nach Durchführung der Messung gewogen. Um die während der Messung herrschende Staubkonzentration zu ermitteln wird die Staubmasse durch das während der Messung angesaugte Luftvolumen dividiert. Hierbei wird Linearität bei der Staubkonzentration während der Messdauer angenommen.

Bei der gravimetrischen Staubmessung steht dem geringen apparativen Aufwand die langen, zum Erreichen der Nachweisgrenze erforderlichen Messzeiten gegenüber. Um die Messzeiten zu verkürzen wurden optische Messverfahren (Streulicht, Laser-Beugungsspektren, Extinktion, Partikelzähler) in Betracht gezogen und umfangreiche Untersuchungen mit diesen Verfahren durchgeführt. Die am IfW durchgeführten Vergleichsmessungen ergaben allerdings, dass keines der oben genannten Messverfahren Ergebnisse liefert, die der bei gravimetrischer Messung erreichbaren Genauigkeit entsprechen.

Um an den wechselnden Arbeitsplätzen von Beschäftigten in klein- und mittelständischen Betrieben die während der Arbeitszeit auftretende Staubbelastung zu messen kommen personengetragene Staubsammelgeräte zum Einsatz. Am IfW wird für Gesamtstaubmessungen das personengetragene Gefahrstoff-Probenahmesystem PGP eingesetzt. Da der Luftvolumenstrom, der an der Körpervorderseite in Schulterhöhe der Versuchsperson angesaugt wird, nur 3,5 l/min beträgt, dauert der Nachweis einer Konzentration von  $0,5 \text{ mg/m}^3$ , die 25 % des TRK-Wertes von Holzstaub entspricht, knappe 3 Stunden. Die absolute Nachweisgrenze liegt hier bei 0,3 mg.

Um stationäre Staubmessungen durchzuführen wird am IfW das Staubprobenahmegerät Gravikon VC 25 der Firma Ströhlein eingesetzt (Abb. 2.2).



Abb. 2.2: Staubprobenahmegerät Gravikon VC 25

Dieses Messgerät dient zur ortsfesten Probeentnahme von Fein – und Gesamtstäuben am Arbeitsplatz. Das Gerät besitzt einen von Temperatur und Strömungswiderstand unabhängigen, konstant geregelten Luftdurchsatz von  $22,5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Durch Austausch des Probenahmekopfes kann das Gerät wahlweise zur Gesamtstaubprobenahme oder zur Feinstaubprobenahme verwendet werden. Bei der Feinstaubprobenahme erfolgt die Staubtrennung direkt auf dem eingelegten Membranfilter. Feinstaub und Grobstaub werden hierbei örtlich getrennt abgeschieden. Die Auftrennung entspricht der 1959 in Johannesburg verabredeten und international angewendeten Kurve, die in Kapitel 2.1.2 näher beschrieben wurde. Beim Gravikon VC 25 liegt die absolute Nachweisgrenze bei 3 mg.

### 3 Ziel und Vorgehensweise

Ziel dieser Arbeit ist die Aussage über das Verhalten von Staubpartikeln in einer Staubmesskabine bei unterschiedlichen Ausbringungs- und Absaugbedingungen. Als Bewertungskriterium dient das Verhältnis des definiert ausgebrachten Staubes zu der gemessenen Staubbelastung der im Absaugtunnel entnommenen Luft. Die Ergebnisse sollen der Schaffung einer EU-Norm dienen, welche die Staubprüfung von Elektrowerkzeugen auf europäischer Ebene vereinheitlichen und vereinfachen wird.

Alle notwendigen experimentellen Untersuchungen werden an einer am Institut für Werkzeugmaschinen vorhandenen Staubmesskabine nach DIN 33891 vorgenommen. Als Staubquelle dient ein Feststoffdispersierer RGB-1000 der Firma Pallas. Die vier Stäube, die zur Herstellung der Versuchsaerosole dienen, wurden im EU-Projekt SMT4-CT97-2166 bestimmt. Die zu variierenden Größen sind bei der Staubausbringung die Höhe der Staubquelle und die Größe der Partikel. Die Absaugung der Staubmesskabine wird dabei mit zwei unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten arbeiten.

Als erster Schritt der experimentellen Arbeit wird der Messtunnel der Staubmesskabine verlängert und optimiert. Die Verlängerung zur Erfüllung der Forderungen in DIN 33891 „Bestimmung der Staubemissionsrate; Basisverfahren“ (Abb. 3.1) und zum Verhindern von Einflüssen auf die Strömung an der Messstelle durch den Diffusor am Ende des Messkanals nötig (Kap. 4.1.1).

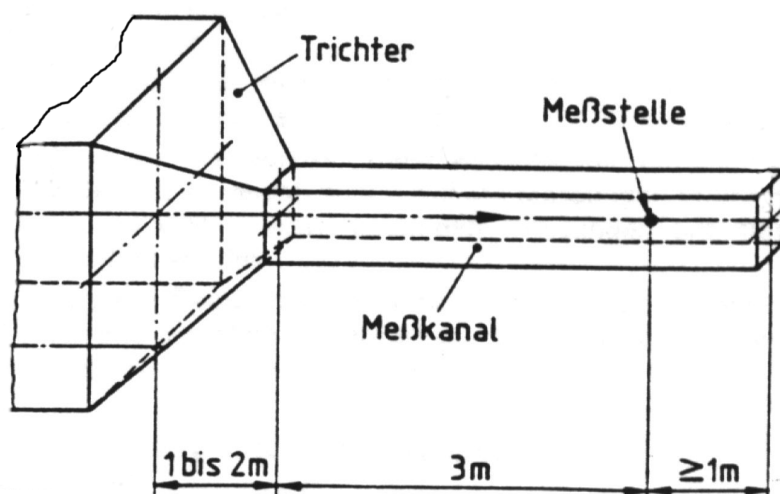


Abb. 3.1: Abstand der Messstelle zum Tunnelende

Für die fünf Filter, die im Tunnel anzubringen sind, muss eine Aufnahme angefertigt und an der entsprechenden Stelle der Tunnelwand ein Zugang für die Entnahme der Filter geschaffen werden. Die bei der Staubmessung zum Einsatz kommenden Venturidüsen werden dimensioniert und in die Absaugapparatur der Filter integriert. Um das unerwünschte Zuströmen von Luft zu verhindern muss die Messkabine an verschiedenen Stellen abgedichtet werden.

Um die einwandfreie Funktion und die gleichbleibende Emission zu gewährleisten werden mit dem Feststoffdispergierer Vorversuche durchgeführt, die Eigenarten der verwendeten Stäube bei der Aerosolherstellung aufzeigen sollen.

Im Anschluss werden die eigentlichen Versuche in der Staubmesskabine durchgeführt und dokumentiert. Dabei wird die Staubquelle an einem räumlich definierten Punkt aufgestellt, die erforderlichen Rahmenbedingungen, welche in Kapitel 4.3 näher beschrieben sind, werden geschaffen und der Staub definiert ausgebracht. Nach vollständiger Ausbringung werden die Filter im Tunnel ausgebaut und die erfasste Staubmasse, die als Grundlage für die Bewertung der unterschiedlichen Versuchsbedingungen dient, gewogen.

Um Aussagen über die Einflüsse der während der Versuche in der Staubmesskabine untersuchten Parameter auf die Messergebnisse machen zu können, sind die an den fünf im Tunnel angebrachten Filtern aufgenommenen Staubmassen für alle Versuche darzustellen und zu diskutieren.

## 4 Aufbau und Betrieb der Versuchsanlage

### 4.1 Versuchsaufbau

Der verwendete Messstand setzt sich aus der Kabine, dem Absaugtunnel, der Staubquelle und den Geräten zur Aerosolprobeentnahme zusammen. Bei der Messkabine und dem daran angeschlossenen Tunnel wurde bei der Konstruktion gemäß DIN 33891 vorgegangen. Die genauen Abmessungen werden wie die vor Versuchsbeginn durchgeführten Umbau- und Optimierungsmaßnahmen in Kapitel 4.1.1 dargestellt. Auf das Staubausbringungsgerät, die der Verwirbelung und Verteilung dienende Strahldüse im Messkanal der Kabine und die zur Staubentnahme benötigten Geräte wird in Kapitel 4.1.2 näher eingegangen. Die Filterköpfe sowie deren Umbau und die daran angeschlossene definierte Absaugung über Venturidüsen sind für die Messdatenerfassung ausschlaggebend und werden in Kapitel 4.2 ausführlich besprochen. Der prinzipielle Aufbau des Versuchsstandes und die Lage der im folgenden besprochenen Geräte und Bauteile sind in Abbildung 4.1 dargestellt.

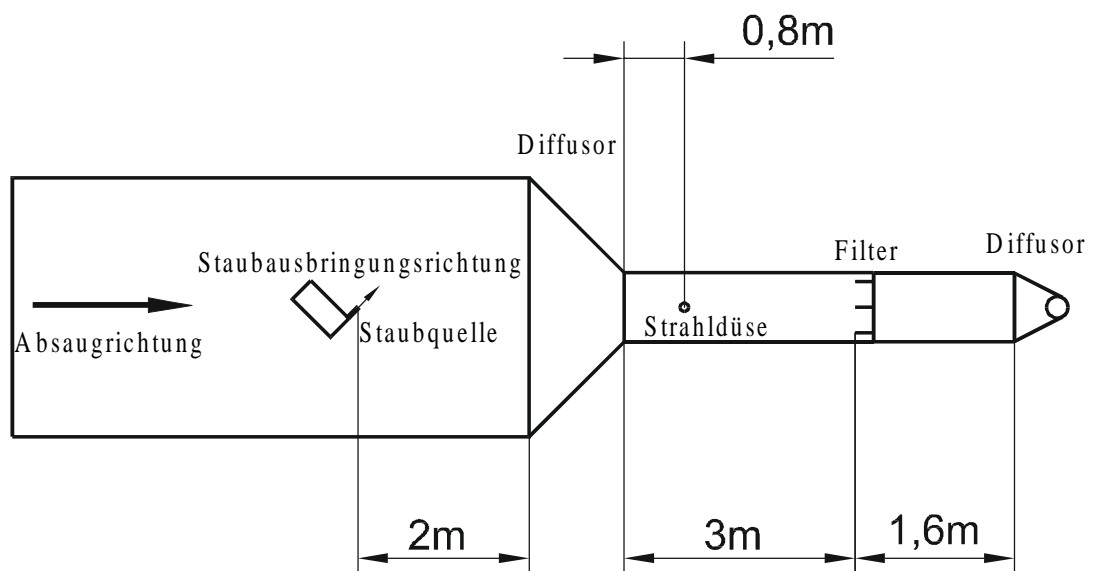


Abb. 4.1: Prinzipieller Aufbau des Versuchsstandes

Teilweise wurden die oben angegebenen Maße im EU-Projekt vorgegeben und teilweise sind die Abstände nötig um eine laminare Strömung an der Messstelle, die in der Abbildung 4.1 mit "Filter" gekennzeichnet ist, zu gewährleisten.

#### 4.1.1 Messkabine nach DIN 33891

Die am Institut für Werkzeugmaschinen an der Universität Stuttgart vorhandene Messkabine wurde nach DIN 33891 (Abb. 4.2) konstruiert und gebaut.

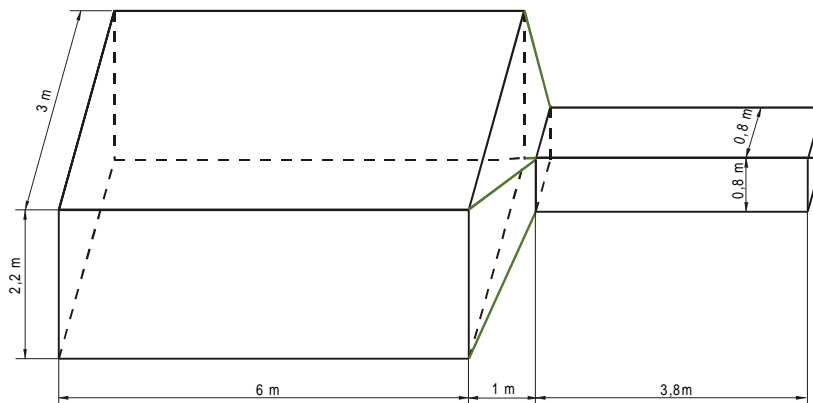


Abb. 4.2: Abmessungen der Kabine

Die Tunnellänge von 3,8 m entsprach jedoch nicht der in der Norm geforderten Tunnellänge von mindestens 4 m. Nach der Messstelle soll sich der Tunnel nach frühestens einem Meter verengen (Abb. 4.3), bei der ursprünglichen Kabine war der Diffusor bereits 80 cm nach der Messstelle angebracht. Eine Verlängerung des Messtunnels auf mindestens 4 m war deshalb nötig.

Bei allen zukünftigen Nennungen wird die Blickrichtung auf die Messstellen in Absaugrichtung festgelegt.



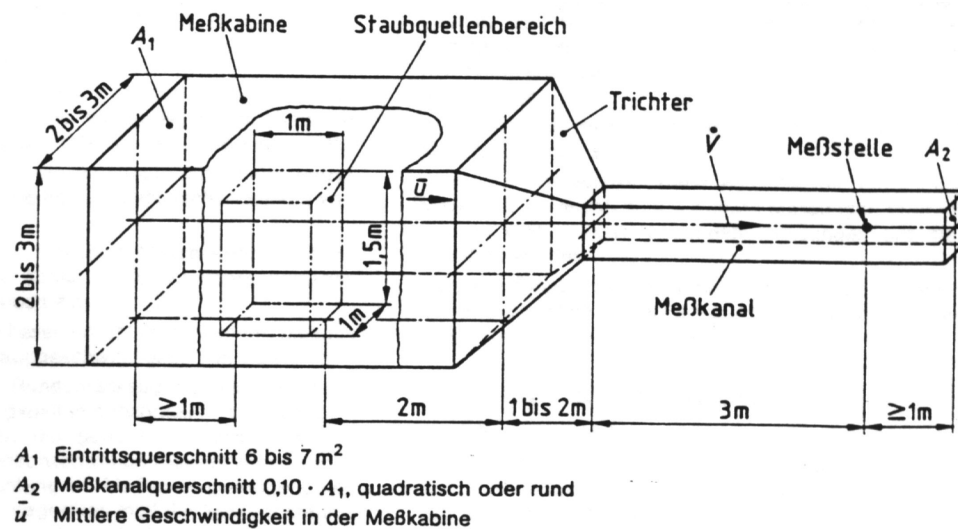


Abb. 4.3: Messkabine nach DIN 33891

Im Diffusor zwischen der Messkabine und dem Messkanal erfolgt eine symmetrische Reduktion vom Einlassquerschnitt  $A_1$  auf den Auslassquerschnitt  $A_2$ . Hierbei ergibt sich ein Druckunterschied von  $A_1$  und  $A_2$  der abhängig von der Form des Diffusors, der Reynoldszahl  $Re$  und der Rauheit  $k$  der Wandung ist. Um eine laminare Strömung an der Messstelle zu gewährleisten ist die Messstelle 3,75 mal dem hydraulischen Durchmesser  $D_h$  von 800 mm hinter dem Anfang des Messkanals angebracht.

Um die fünf Filterköpfe im Messkanal zu positionieren wird ein Gestänge angefertigt, welches durch senkrechte Bohrungen in den Messkanal eingelassen wird. Um die Filter sowohl vor als auch nach jeder Messung wiegen zu können muss eine entsprechende Öffnung im Messkanal geschaffen werden. Dazu wurde ein Rechteck ausgesägt, eine Glasscheibe auf einen Rahmen aufgeklebt und bündig abschließend zur Innenwand des Tunnels montiert (Abb.4.4).

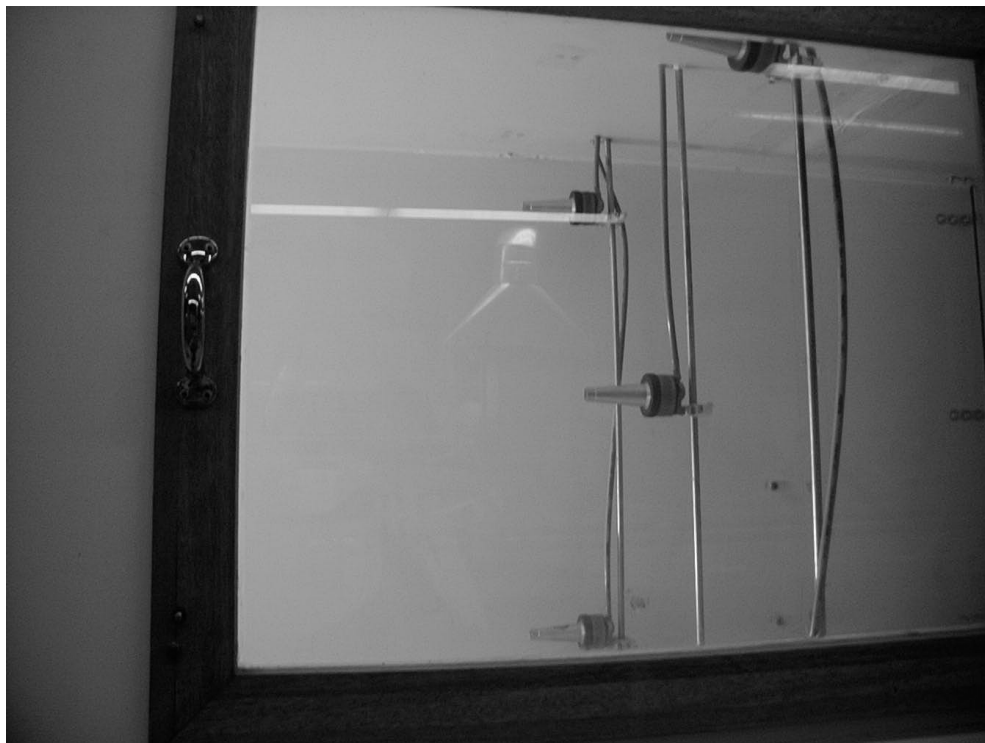


Abb. 4.4: Fenster im Messkanal

Auch die in Kapitel 4.1.2 beschriebene und in Abbildung 4.6 gezeigte Strahldüse musste im Messkanal installiert und eine Druckluftzuleitung mit Druckregelventil angebracht werden. Sowohl die Kabine als auch der komplette Kanal wurde mit Silicon abgedichtet, da die vorhandenen Klebebänder sich an mehreren Stellen gelöst hatten.

#### **4.1.2 Darstellung der Versuchsaufbauten**

Das für die Messungen gebrauchte Aerosol wird von einem Feststoffdispergierer der Firma Palas (Abb. 4.5) hergestellt.



Abb. 4.5: Feststoffdispergierer RGB – 1000

Dabei wird Staub, der sich in einem Zylinder befindet, über einen Linearvorschub mit 700 mm/h einer mit 1000 U/min rotierenden Bürste zugeführt. Dort wird der Staub von einem Luftstrom, der beim Eintritt in die Staubquelle einen Druck von 1,8 bar hat, erfasst und über eine Düse an die Umgebung abgegeben. Die Richtung des Aerosols hat zu diesem Zeitpunkt  $45^\circ$  Abweichung von der Absaugrichtung in der Kabine. Das Gerät befindet sich im Abstand von 3m zum Beginn des Messkanals auf der Mittelachse der Messkabine. Die Höhe variiert ebenso wie der eingefüllte Staub bei den jeweiligen Versuchen. Auf die Besonderheiten für den Betrieb der Staubquelle wird in Kapitel 5.1 eingegangen.

Nachdem der Staub definiert ausgebracht ist wird er in Richtung Messkanal gesaugt. Dies geschieht in getrennten Versuchen mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten von 0,25 m/s bzw. 0,33 m/s. Um diese Geschwindigkeiten in der Messkabine zu erreichen wird die Absaugung des Instituts mit 33 Hz bzw. 43 Hz betrieben. Zur besseren Verteilung des Staubes im Messkanal ist 800 mm nach Beginn des Kanals eine Düse exakt in dessen Mitte eingebaut (Abb. 4.6).

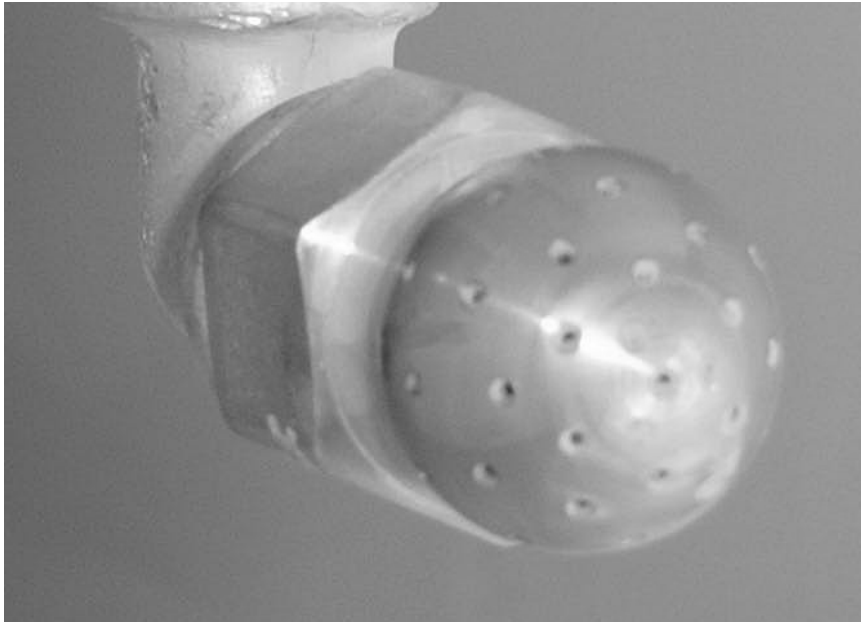


Abb. 4.6: Strahldüse im Messkanal

Die Düse hat die Form einer Kugel und strahlt Luft ringförmig in den Messkanal. Der Druck der einströmenden Luft lässt sich an einem auf dem Messkanal angebrachten Druckregelventil einstellen und beträgt bei allen Versuchen 2 bar.

Das Aerosol wird danach im Messkanal den Filterköpfen (Abb. 4.7) zugeführt und teilweise in diese eingesaugt. Der Staub wird im Inneren auf einem Filter abgelagert.

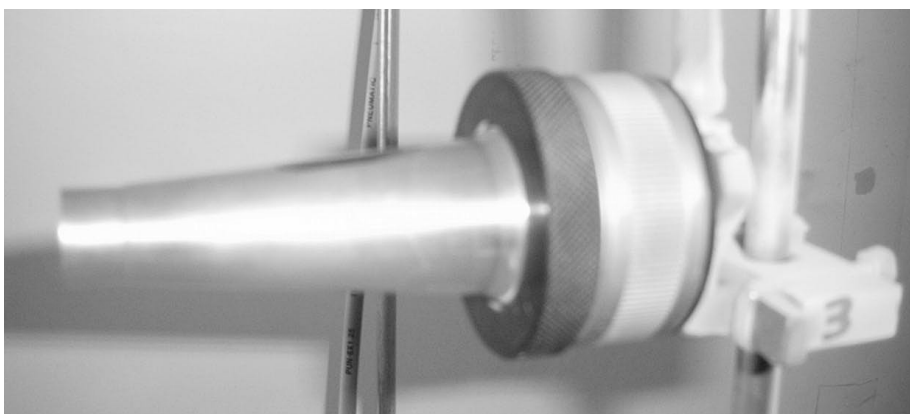


Abb. 4.6: Filtereinheit im Tunnel

Da die Filterköpfe ursprünglich als Teil eines personengetragenen Staubsammelgerätes in stehender Luft eingesetzt wurde musste der Einfluss der Aufnahme (Abb. 4.7) an der ursprünglich nur 15 mm entfernten Mündung in strömender Luft minimiert werden.

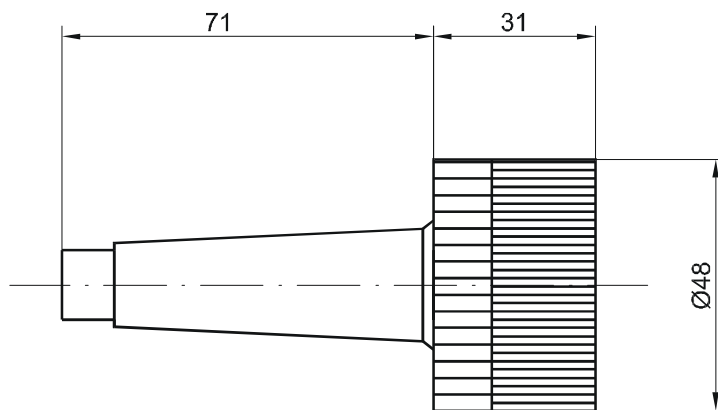


Abb. 4.7: Filterkopf: Abstand der Trichteröffnung zur Aufnahme

Dies wurde über die Verlängerung die Trichter (Abb. 4.8) über dem Filter erreicht.

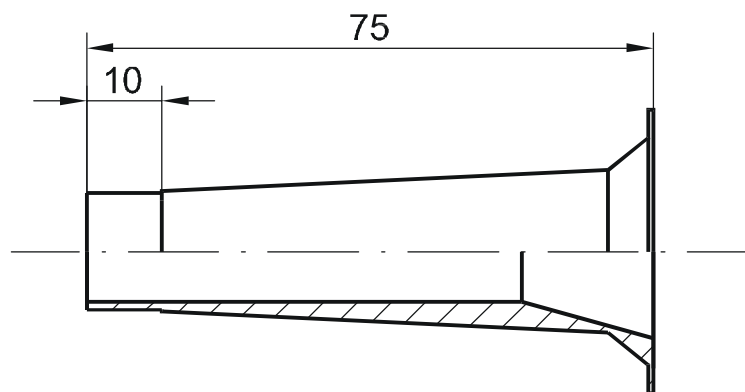


Abb. 4.8: Neuer Trichter für Absaugung in strömender Luft

Nur so war diese Apparatur auch in der schnell strömenden Luft in der Staubmesskabine zu verwenden, da die Aufnahme nun mehr als das 1,2-fache des Durchmessers von der Öffnung des Trichters entfernt lag. An der Öffnung des Trichters kann also weiterhin laminare Strömung angenommen werden.

Pro Filterkopf sollen exakt 22,6 l Luft in der Minute abgesaugt werden. Am Institut steht hierfür eine Vakuumpumpe SECO CV 1016 zur Verfügung die an ein Verteilerrohr

angeschlossen ist. Zur Geräuschkämpfung wird die Abluft der Pumpe durch einen Behälter mit Kunststoffgranulat geleitet. In dem oben genannten Verteilerrohr befinden sich 5 zugekaufte Venturidüsen (Abb. 4.9) die so angefertigt wurden, dass sie im kritischen Betrieb jeweils genau die geforderten 22,6l/min Luft durchlassen.

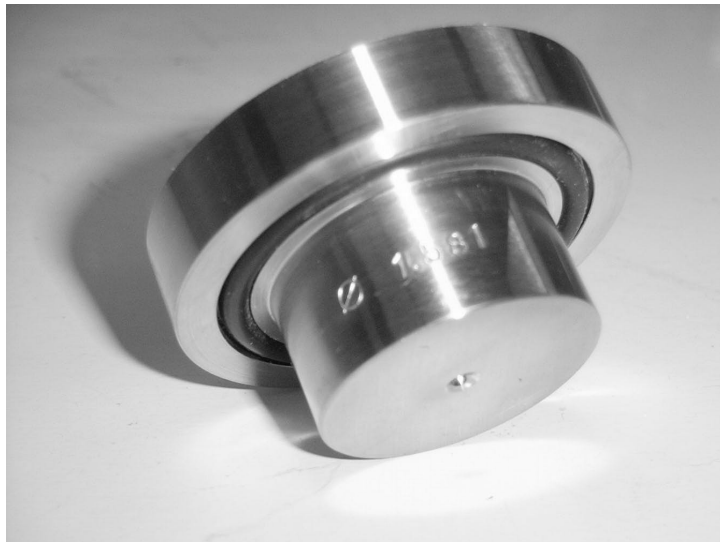


Abb. 4.9: Venturidüse in der Absaugung der Filter

Die Aufnahmen (Abb. 4.10) der Gehäuse für diese Düsen wurden in der Werkstatt des IfW hergestellt.



Abb. 4.10: Aufnahme für die Venturidüse



## 4.2 Messdatenerfassung und –verarbeitung

Ziel der Versuche ist Aussagen über den Zusammenhang der in der Kabine unter verschiedenen Bedingungen stattfindenden Emission und des im Messkanal in den Filtern aufgenommenen Staubes machen zu können. Dazu ist es notwendig sowohl die ausgebrachte Staubmasse als auch die Staubmasse an den einzelnen Messpunkten im Kanal zu bestimmen. Die in den Staubzylinder des Feststoffdispergierers eingefüllte Staubmasse entspricht keinesfalls der tatsächlich in die Kabine eingebrachte Staubmasse. Im Zylinder der Staubquelle kann die kreisrunde Drahtbürste, die der Feinverteilung des Staubes und somit der Aerosolherstellung dient, nicht den gesamten Staub erfassen. Dieser Rückstand ist durch die plane Kolbenfläche baulich bedingt und kann durch Wiegen des Staubzylinders nach der Messung bei bekanntem Leergewicht ermittelt werden. Die Bürste nimmt je nach verwendetem Staub ebenfalls Einfluss auf die tatsächlich in die Kabine ausgebrachte Staubmasse. Der Vorgang wird in Kapitel 5.1 genauer beschrieben. Hier findet sich auch die Begründung für die Reinigung vor jedem Versuch und das Ausbauen und Wiegen der Bürste nachdem die Staubausbringung abgeschlossen ist. Die in der Bürste zurückgebliebene Staubmasse muss ebenso wie der Reststaub im Staubzylinder von der in die in den Staubzylinder eingefüllte Staubmasse subtrahiert werden um die tatsächlich ausgebrachte Staubmasse zu ermitteln.

Die jeweiligen Filterköpfe, welche im Messkanal der Staubmesskabine angebracht sind, werden vor der Messung im montierten Zustand gewogen. Dies bedeutet, dass die Gesamtmasse des Glasfaserfilters, des Ansaugtrichters und der Aufnahme für das Filter und den Trichter ermittelt wird. Nach der Staubausbringung werden die Filterköpfe vorsichtig ausgebaut, die an der Außenseite haftenden Staubpartikel mit einem Pinsel entfernt und nach der in Kapitel 5.3 begründeten Wartezeit von mindestens 90 Minuten erneut gewogen. Nach diesem Vorgang wird der Filterkopf zerlegt und ein neues Filter eingesetzt. Abbildung 4.14 zeigt den zerlegten Filterkopf mit seinen Komponenten und den beiden wechselbaren Ansaugrichtern, die je nach verwendeter Absauggeschwindigkeit eingebaut werden.





Abb. 4.14: Einzelteile des Filterkopfes; wechselbare Ansaugtrichter

Die Differenz aus diesen beiden Wägvorgängen ergibt die durch den Ansaugtrichter des Filterkopfes gesaugte Staubmasse. Die bei der Staubmessung angewandte Methode nur das Filter zur Staubmassenbestimmung zu verwenden ist bei den hier durchgeführten Versuchen nicht anwendbar; die aufgenommene Staubmasse ist sehr gering und der im Ansaugtrichter und in der Filteraufnahme haftende Staub, der beim separaten Wiegen des Filters nicht berücksichtigt wird, verursacht bei der Ermittlung der aufgenommenen Staubmasse einen großen Fehler.

Für das Wiegen der Filtereinheiten wird eine Präzisionswaage der Firma Denver Instruments, die Massen bis 200 g erfasst und eine Skalierung von 0,1 mg aufweist, verwendet (Abb. 4.15).

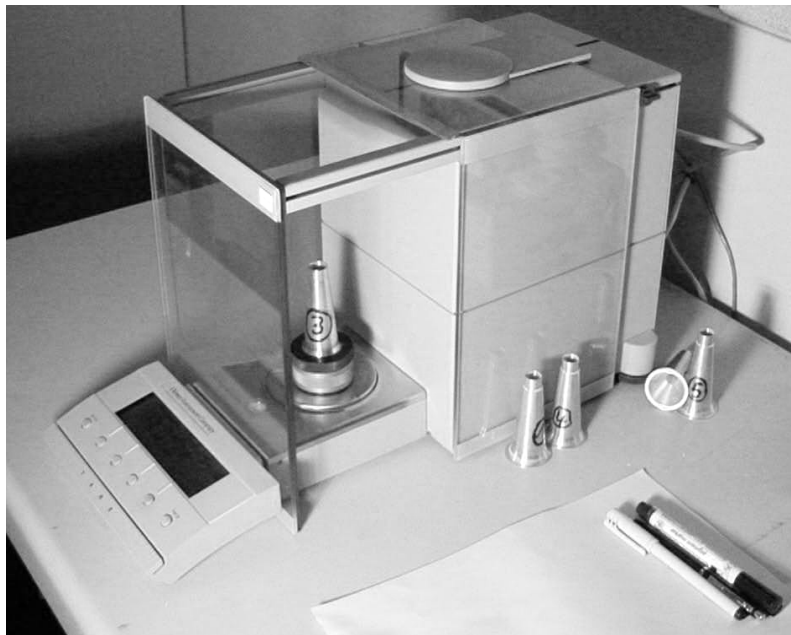


Abb. 4.15: Wiegen eines kompletten Filterkopfes

Die Luftfeuchtigkeit wird ebenso wie die Temperatur erfasst und protokolliert. Die Luftfeuchtigkeit beeinflusst bei Messung der aufgenommen Staubmassen durch das Befeuchten und Trocknen des eingesetzten Glasfaserfilters. Aus diesem Grund werden die Messungen nur bei Witterung mit über die Zeit konstanter Luftfeuchtigkeit, die an einem auf dem Messkanal angebrachten Hygrometer erfasst wird, durchgeführt. Vor und während starker Regenfällen wurden Vergleichsmessungen durchgeführt. Die überproportionalen Abweichungen, die sich zum Teil in einer negativen Massezunahme der Filter während eines Versuchs äußerten, waren der Auslöser für die oben genannten Maßnahmen. Die in Kapitel 5.3 beschriebenen Voruntersuchungen bezüglich des Einflusses der Luftfeuchtigkeit auf die Masseänderungen der Filter waren Auslöser für eine Ruhephase von 90 Minuten zwischen der Messung und dem Wiegen der Filter.

### 4.3 Rahmenbedingungen

Das bei der Versuchsdurchführung herrschende Umfeld ist genau zu betrachten. Die in Kapitel 4.2 beschriebenen baulichen Bedingungen der Messkabine und die damit verbundenen unveränderlichen Einflussgrößen bestimmen teilweise den Versuchsablauf. Aber

auch an der Staubquelle, deren Aufstellung und der Absaugung stehen Möglichkeiten zur Verfügung, die Versuchsbedingungen zu variieren. Auch das Befüllen der Staubquelle mit Staub unterschiedlicher Partikelgröße und Dichte schafft neue Bewertungskriterien. Um den Einfluss der Luftfeuchtigkeit möglichst konstant zu halten ist bei der Durchführung der Versuche auf eine annähernd gleichbleibend Feuchte zu achten. Außerdem wird der in Kapitel 5.3 beschriebene Feuchtigkeitsangleich durchgeführt.

An der Staubquelle wurde für alle Versuche eine konstante Bürstendrehzahl von 1000 U/min gewählt. Dies wirkt sich, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, vor allem bei Staub mit größerem Partikeldurchmesser positiv auf den Reststaub in der Bürste aus. Der für die durch die Staubquelle ausgebrachte Staubmenge verantwortliche Linearvorschub des Kolbens, der den Staub der Bürste zuführt, wird mit der größtmöglichen Geschwindigkeit von 700 mm/min betrieben. Dies erzeugt in der Staubmesskabine und im Messkanal eine für die Erfassung und Auswertung positiv zu wertende höhere Partikelkonzentration in der Luft. Damit der Staub von der Bürste durch eine Düse an die Umgebungsluft abgegeben werden kann, wird ein Luftstrom mit 1,8 bar über die Bürste geleitet.

Der Aufstellungsort der Staubquelle befindet sich auf der Längsachse der Kabine im Abstand von 3 m zum Absaugkanal und wird für alle Versuche beibehalten. Für die Ausbringungsrichtung wird nicht genau die Richtung der abgesaugten Luft gewählt sondern eine von der Achse um 45° nach links abweichende Richtung.

Die im Absaugtunnel in Kabinentrichternähe montierten Düse, die für eine homogenere Partikelverteilung an der Messstelle sorgt, wird mit einem bei allen Versuchen gleichbleibenden Druck von 2 bar betrieben.

#### **4.3.1 Parameter**

Die im Rahmen dieser Arbeit zu untersuchenden Parameter bestehen aus vier verschiedenen, nachfolgend noch näher beschriebene Stäuben, der Ausbringungshöhe und der Absauggeschwindigkeit.

Bei der Absauggeschwindigkeit wurden zwei verschiedene Luftgeschwindigkeiten in der Kabine gewählt. Die langsamere Geschwindigkeit von 0,25 m/s ermöglicht es schwereren Partikeln sich am Kabinenboden und am Trichter abzusetzen, die schnellere Geschwindigkeit von 0,33 m/s reduziert diesen Effekt. Die bereits beschriebenen Filterköpfe im Absaugkanal werden je nach Absauggeschwindigkeit mit Ansaugtrichtern unterschiedlicher Einlassöffnung

bestückt (Abb. 4.16). Bei der Luftgeschwindigkeit von 0,25 m/s wird ein Trichter mit dem Öffnungsdurchmesser von 13,482 mm, bei 0,33 m/s wird der kleinere Trichter mit 11,394 mm montiert.

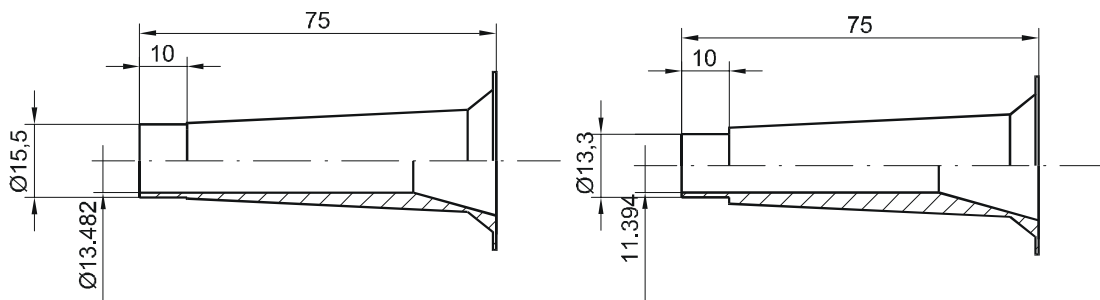


Abb. 4.16: Wechselbare Ansaugtrichter der Filtereinheit

Diese Maße der Trichteröffnungen sind in dem erwähnten EU-Projekt festgelegt und müssen bei der Konzentrationsberechnung der Partikel in der abgesaugten Luft berücksichtigt werden. Um Aussagen über den Einfluss der Höhe, in der die Emission stattfindet, machen zu können wird die Staubquelle in der Kabine in vertikaler Richtung verschieden positioniert. Die verschiedenen Positionen sind so gewählt, dass sich die Düse, durch die das Aerosol in die Kabinenluft gelangt, in 25%, 50% und 75% der Kabinenhöhe befindet. Hier soll die Annahme, dass je höher der Ort der Staubausbringung gewählt wird, desto unwahrscheinlicher ist ein Absinken der Partikel auf den Kabinenboden, überprüft werden.

#### 4.3.2 Verwendete Stäube

Bei den in den Versuchen verwendeten Stäuben handelt es sich um für diesen Zweck hergestellte und fraktionierte Partikel aus Aluminiumoxyd. Der Werkstoff  $\text{Al}_2\text{O}_3$  eignet sich für die durchzuführenden Versuche durch seine Homogenität der Form im Vergleich zu Holzstaub sehr gut. Die Feuchtempfindlichkeit von Holzstaub ist weitaus größer als die von Aluminiumstaub, da Holzpartikel bei Feuchte quellen.

Die Partikel wurden durch Trockendispergierung am Fraunhofer-Institut (IPA) Stuttgart untersucht und die jeweils auftretenden Konzentrationen im Bereich zwischen  $0,49 \mu\text{m}$  und  $876,6 \mu\text{m}$  prozentual erfasst. Bei allen vier untersuchten Stäuben zeichnet sich ein eindeutige Häufung der Partikel ab (Abb. 4.17 - 4.20). Anhand der gemessenen Konzentrationen der Partikelgrößen werden die vier Stäube F 280, F 400, F 600 und F 1200 wie folgt unterschieden:

Staub	Partikelgröße	Konzentration
F 280	48,27 µm – 56,23 µm	14,91 %
F 400	19,31 µm – 22,49 µm	17,46 %
F 600	14,22 µm – 16,57 µm	12,33 %
F1200	4,88 µm - 5,69 µm	9,97 %

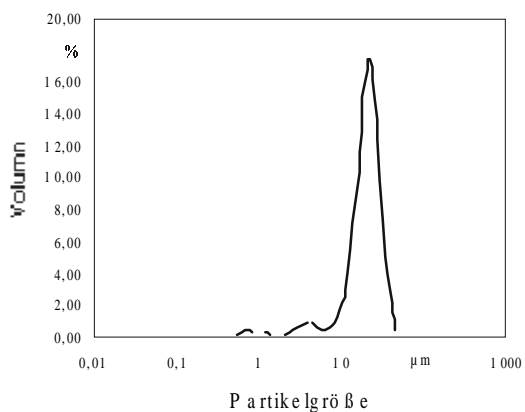


Abb. 4.17: Partikelgrößenverteilung F280

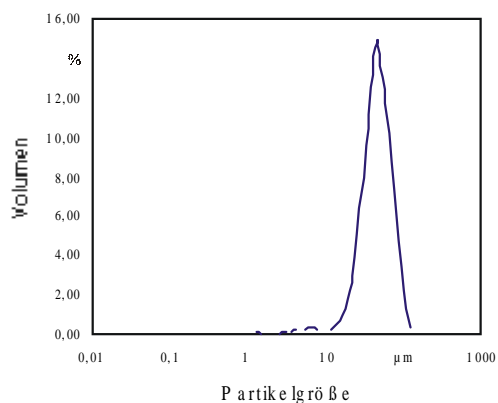


Abb. 4.18: Partikelgrößenverteilung F400

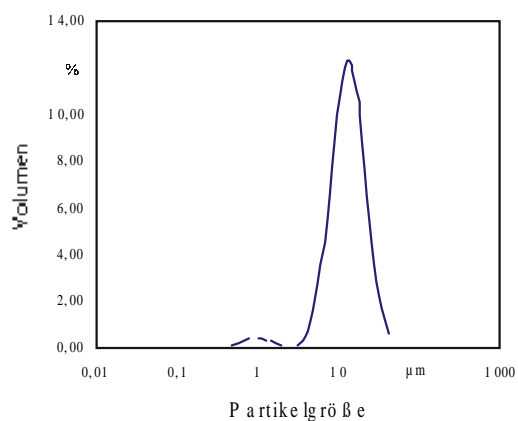


Abb. 4.19: Partikelgrößenverteilung F600

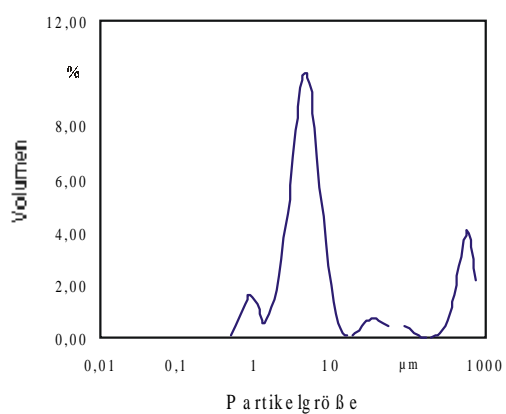


Abb. 4.20: Partikelgrößenverteilung F1200

Die angelieferten Stäube entsprechen somit den Projektvorgaben, die für F 280 eine Partikelgröße von 50  $\mu\text{m}$ , für F 400 20  $\mu\text{m}$ , für F 600 15  $\mu\text{m}$  und für F 1200 eine Groenkonzentration von 5  $\mu\text{m}$  vorschreiben.

Auffällig ist jedoch, eine der Herstellung zuzuordnende, unerwünschte Konzentration von Partikeln mit der Größe zwischen 500  $\mu\text{m}$  und 800  $\mu\text{m}$  von insgesamt 14 % der Gesamtstaubmenge bei F 1200.

Die verwendeten Stäube lassen sich aber auch durch ihre Dichte unterscheiden. Dazu wird der Staub jedoch nicht als reiner Feststoff angesehen, sondern die Dichte des Gemisches aus Staub und der darin eingeschlossenen Luft bestimmt. Im Versuch wird der Staub zunächst locker in den dafür vorgesehenen Zylinder gefüllt und anschließend definiert verdichtet. Für die Bestimmung der Dichte wird ein 1000  $\text{cm}^3$  fassendes Gefäß mit 100 mm Durchmesser verwendet. Der Staub wird nach dem schichtweisen Einfüllen mit dem gleichen Druck der in den Versuchen herrscht verdichtet. Nachdem sich 1000  $\text{cm}^3$  Staub in dem Gefäß befinden wird die Dichte durch die Bestimmung der Masse ermittelt (Abb. 4.21).

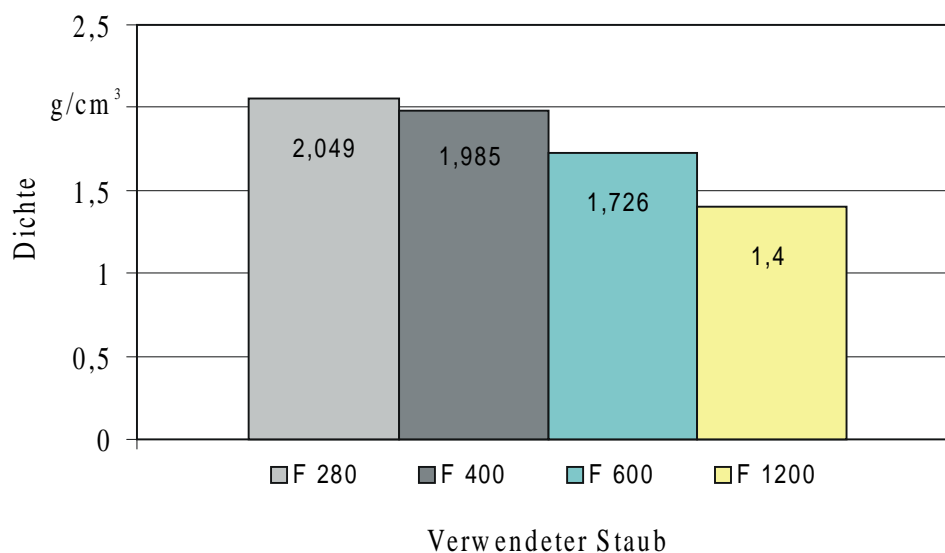


Abb. 4.21: Dichte der verwendeten Stäube

## 5 Voruntersuchungen

Um bei den Messungen möglicherweise auftretende Fehler so gering wie möglich zu halten ist es notwendig sowohl den Staubmessstand als auch die verwendete Staubquelle genauer zu untersuchen. Systematische Abweichungen können dann mit baulichen Veränderungen und der Optimierung der Vorgehensweise behoben oder die gewonnenen Ergebnisse in die Berechnung von Daten korrigierend miteinbezogen werden.

### 5.1 Staubquelle

Bei der Staubquelle wird der Staub, der sich in einem Zylinder befindet durch einen linearen Vorschub des Kolbens einer sehr dicht gearbeiteten Bürste aus Stahldraht zugeführt. Über die Rotationsbewegung der Drahtbürste werden die Partikel einem definierten Luftstrom beigemischt und in die Umgebungsluft ausgebracht. Hierbei geht man zunächst davon aus, dass der ausgebrachte Staub der Differenz des gefüllten Zylinders vor und des Zylinders mit dem Reststaub nach der Staubausbringung entspricht. Wenn allerdings nach der Ausbringung die Bürste aus dem Gehäuse der Staubquelle ausgebaut wird, ist ein Rückstand zwischen den einzelnen Drähten festzustellen. (Abb. 5.1)



Abb. 5.1: Reststaub in der Bürste der Vergleichsstaubquelle

Die Annahme, dass die Bürste nach mehreren Durchläufen keinen weiteren Staub mehr aufnehmen wird und dadurch das Zerlegen der Staubquelle nach jedem Durchlauf zum Wiegen und zur Reinigung der Bürste nicht erforderlich ist, muss durch entsprechende Versuche überprüft werden. Die in den Zylinder eingefüllte Staubmasse wird konstant

gehalten. Auf gleichbleibende Luftfeuchtigkeit ist hinsichtlich des möglichen Verklebens und der damit verbundenen Gewichtszunahme in der Bürste bei diesen Versuchen zu achten. Um Schwankungen der Staubmasse in der Bürste und somit deren Verhalten im Betrieb zu verdeutlichen wird die Bürste nach jedem Durchlauf ausgebaut, gewogen und sofort wieder in die Staubquelle eingesetzt (Abb. 5.2).

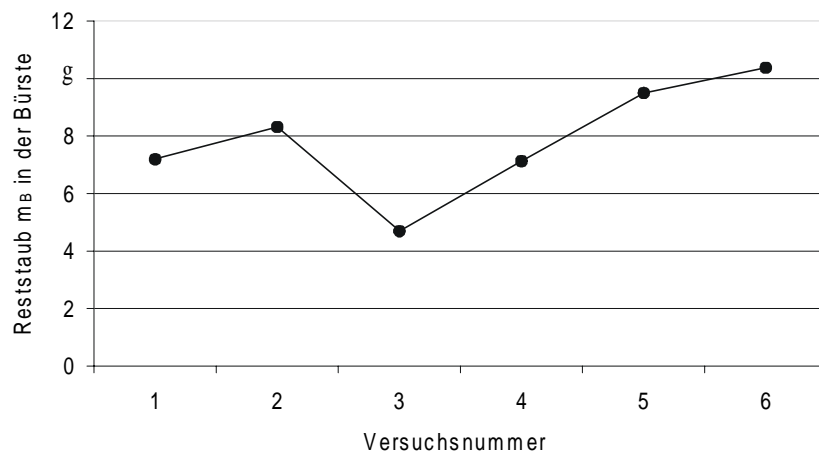


Abb. 5.2: Schwankung des Reststaubes in der ungereinigten Bürste

Zur Überprüfung ob die Staubaufnahme in der gereinigten Bürste als konstant angenommen werden darf wird die prozentuale Schwankung des in der Bürste verbleibenden Staubes ermittelt. Das Gewicht der Bürste im gereinigten Zustand beträgt 202,2 g. Der in der Bürste zurückgebliebene Staub wird nach jedem Durchgang ermittelt und zu der theoretisch ausgebrachten Staubmenge ins Verhältnis gesetzt. Vor dem nächsten Durchlauf wird die Anlage erneut gereinigt (Abb. 5.3).

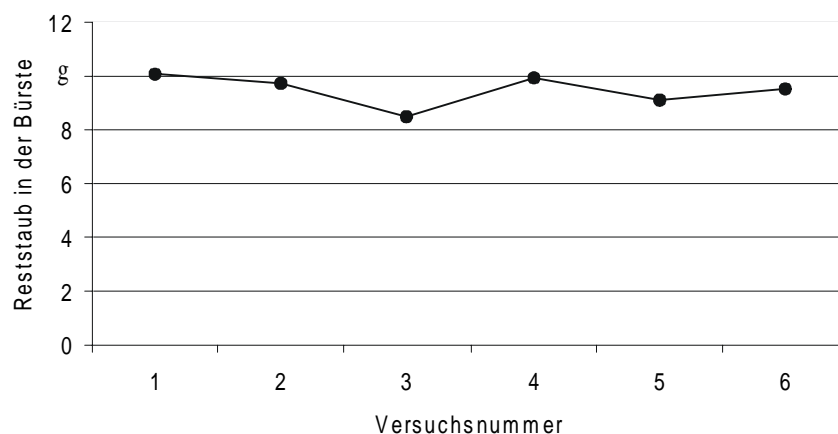


Abb. 5.3: Schwankung des Reststaubes in der gereinigten Bürste



Die Untersuchungen der Staubquelle haben einerseits 17,5% Schwankung beim Reststaub im Zylinder als auch ein nicht definiertes Schwanken der Staubmasse in der Bürste ergeben. Die größte durch die Bürste aufgenommene Staubmenge entspricht 18% des theoretisch ausgebrachten Staubes. Dadurch wird das Auswiegen der einzelnen Bauteile und Ermitteln der tatsächlich ausgebrachten Staubmenge sowie die gründliche Reinigung des Zylinders und der Bürste notwendig.

## 5.2 Staubmesskabine

Die am IfW verwendete Messkabine lässt sich in zwei Bereiche einteilen: Zum einen in den eigentlichen Kabinenraum in dem die Staubausbringung stattfindet und zum anderen in den Bereich des Tunnels. Aus der durch den Tunnel abgesaugten Kabinenluft wird die zur Messung benötigte Luft entnommen. Hierzu wurden im Tunnel fünf Filterköpfe installiert. Im Tunnel wurde mit einer isokinetischen Messsonde das vorhandene Strömungsprofil untersucht. Hierbei wurde der Einfluss des in der Nähe der Filterköpfe befindlichen Tunnelendes und der dort eintretenden Verengung des Tunnels zur Absaugung hin festgestellt. Dies war auch der Anlass zu der bereits beschriebenen baulichen Veränderung des Tunnels (vgl. Kapitel 4.1.1).

Die in der Kabine vorgenommenen Untersuchungen sollten zum einen die herrschenden Geschwindigkeiten im Kabineninneren zeigen und zum anderen der Ermittlung der erforderlichen Rotorfrequenz der Absauganlage dienen. Am Aufstellungsort der Staubquelle soll die Luftgeschwindigkeit 0,25 m/s bzw. 0,33 m/s betragen. Die hierfür ermittelten Frequenzen, die bei alleiniger Nutzung der Absauganlage im Umluftbetrieb einzustellen sind, betragen für die Geschwindigkeit von 0,25 m/s 33 Hz und für eine Kabinengeschwindigkeit von 0,33 m/s 43 Hz.

Das ermittelte Geschwindigkeitsprofil der Kabine zeigt, dass die Strömungsgeschwindigkeit an der Kabinenbegrenzung zwar geringer als der geforderte Wert ist, diese jedoch im Bereich der Staubausbringung den geforderten Luftgeschwindigkeiten in der Staubmesskabine entspricht (Abb. 5.4).

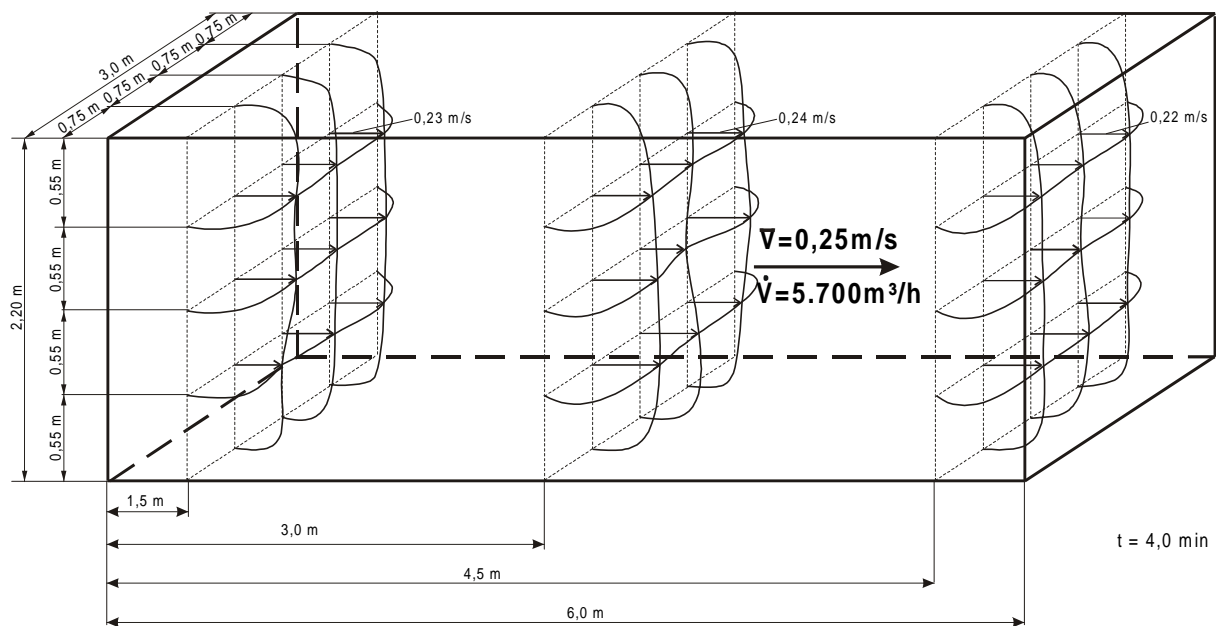


Abb. 5.4: Geschwindigkeitsprofil in der Staubmesskabine

### 5.3 Filter

Durch den hohen Luftdurchsatz durch die in den jeweiligen Messpunkten installierten Filter findet eine Trocknung statt. Dabei verändert sich die Masse der Filter in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit und der Zeit. Um eine präzise Aussage über die gesammelte Staubmasse in den Filtern während der Messung machen zu können ist die Masse der Filter vor und nach der Messung zu bestimmen. Hierbei ist zu beachten, dass die oben erwähnte Trocknung der Filter einen beachtlichen Fehler hervorrufen kann. Um den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf das Messergebnis zu eliminieren wird die Zeit, welche die Filter zum Erreichen des ursprünglichen Feuchtegehalts benötigen, durch entsprechende Versuche ermittelt. Dabei werden Messungen am Prüfstand durchgeführt, die im wesentlichen den eigentlichen Versuchen entsprechen. Um jedoch den Trocknungseffekt und die anschließende Feuchtigkeitsaufnahme genau erfassen zu können wird in diesen Versuchen auf die Staubausbringung verzichtet. In Abbildung 5.5 ist die Filtermasse über der Zeit aufgetragen. Hier kann man sowohl den durch die Trocknung hervorgerufenen Masseverlust während der Messung als auch die für die Feuchtigkeitsaufnahme benötigte Dauer der Ruhephase erkennen.

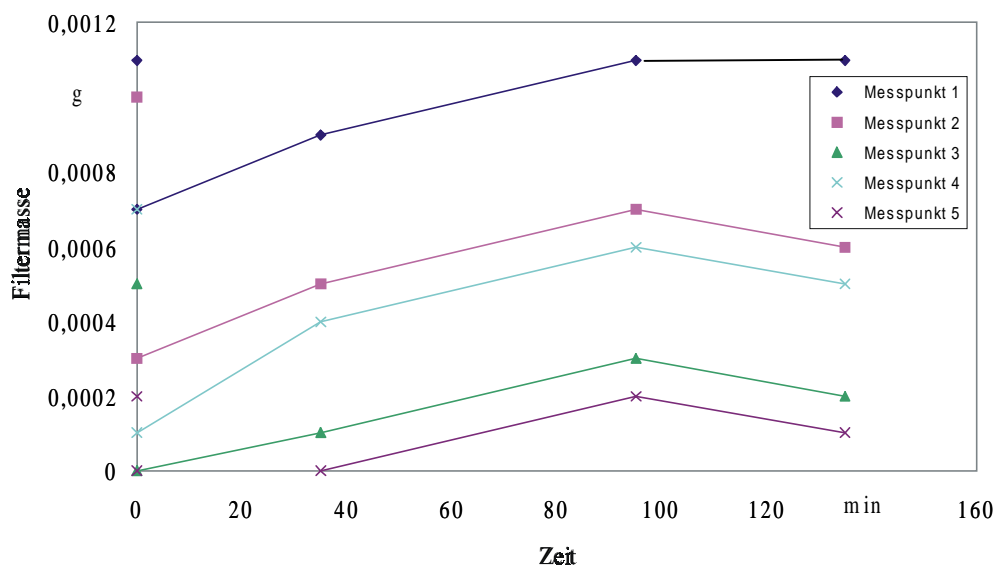


Abb. 5.5: Filtermassenänderung nach einer Leermessung

Wenn zwischen der Messung und dem Wiegen die Filter mindestens 90 min zur Wiederherstellung des ursprünglichen Feuchtegehalts gelagert werden, ist die ursprüngliche Filtermasse annähernd wieder erreicht und der dadurch entstehende Fehler als geringfügig anzusehen. Je nach Höhe der Luftfeuchtigkeit ändert sich der durch Trocknung hervorgerufene Masseverlust an den Filtern; bei hoher Luftfeuchtigkeit kann dieser Betrag sogar die am Filter während der Messung aufgenommene Staubmasse überschreiten.

## 6 Darstellung und Diskussion der Messergebnisse

### 6.1 Staubausbreitungsverhalten in der Messkabine

Bei der Staubausbringung während den durchgeführten Versuchen wurde das jeweilige Aerosol an einem festgelegten Punkt in der Messkabine ausgebracht. Dieser Ausbringungsort variierte zwar teilweise in der Höhe, lag jedoch immer in dem in der DIN 33891 festgelegten Staubquellenbereich (Abb. 6.1).

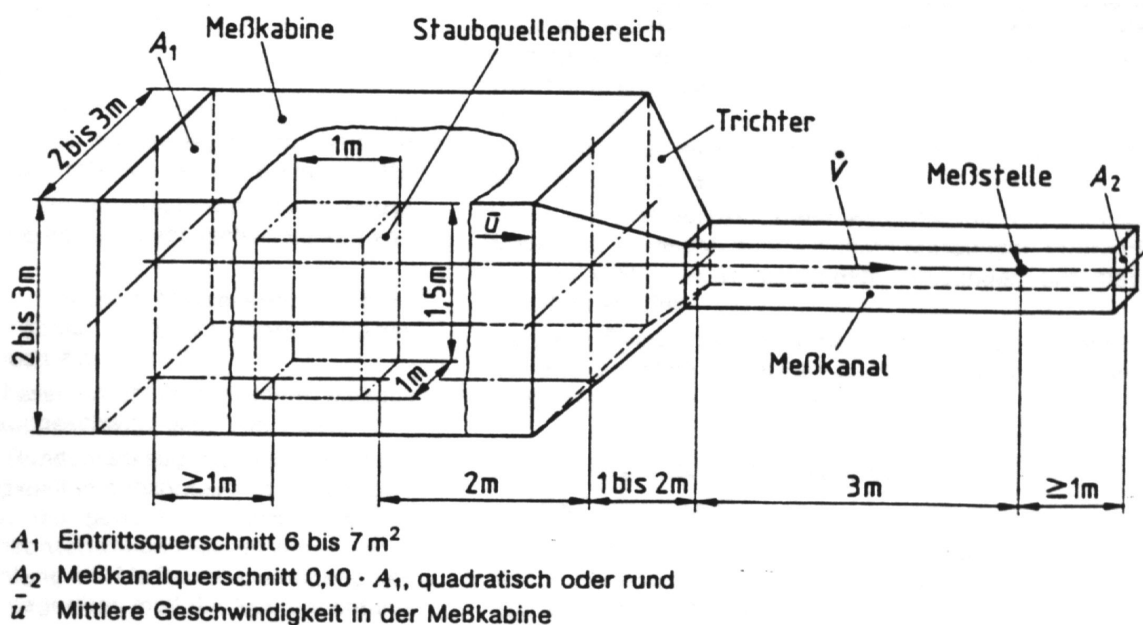


Abb. 6.1: Staubquellenbereich in der Messkabine

Die Staubausbringungsrichtung war bei sämtlichen Versuchen unter 45° nach links zur Strömungsrichtung der mit zwei unterschiedlicher Geschwindigkeit abgesaugten Luft gerichtet. Bei allen Versuchen lagerte sich der Staub an der Kabinendecke, der Kabinenwand und am Boden ab. Die Stäube mit kleiner Partikelgröße tendierten zu Ablagerungen an der Kabinenwand und je nach Höhe auch an der Kabinendecke, der Staub mit der Bezeichnung F 280, dessen Partikel am größten war, lagerte sich vorwiegend am Boden ab. Hier war, besonders in der niedrigen Ausbringungshöhe, deutlich die eigentliche Flugbahn der Partikel als Ablagerungen nachgezeichnet. An der unteren Diffusorwandung am Tunneleingang waren bei niedriger Ausbringungshöhe und Staub mit größeren Partikeln die größten

Partikelablagerungen festzustellen. Diese konzentrierten sich auf der linken Seite. Je größer die Absauggeschwindigkeit gewählt wurde, desto weniger Ablagerungen waren in der Messkabine und im Diffusor festzustellen.

Bei folgenden Versuchen zur Emissionsbestimmung an Elektrowerkzeugen sollten diese Umstände unbedingt bei der Festlegung der Prüfbedingungen und bei der Bewertung der Emission beachtet. Eine vorherige Untersuchung der ausgestoßenen Partikel bezüglich Größe und Dichte kann bei der Wahl der Versuchsbedingungen hilfreich sein.

## 6.2 Staubausbreitungsverhalten im Anlagentunnel

Um den negativen Einfluss des Diffusors am Anfang des Tunnels auf die strömende Luft zu verringern wurden die Filter, an denen die staubbeladene Luft entnommen wird, im Abstand von 3 m zum Tunneleingang angebracht. Damit der Diffusor am Tunnelende keinen störenden Einfluss auf die strömende Luft an der Messstelle hat wurde der Kanal (wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben) verlängert. Somit kann man von einer laminaren Strömung an der Messstelle ausgehen. Diese ist im Hinblick auf die Staubaufnahme an den Filtern und die daraus getroffenen Folgerungen auf die in den Versuchen untersuchten Veränderlichen unverzichtbar.

Die im Tunnel der Messkabine angebrachte Strahldüse soll den Staub in der abgesaugten Luft homogen verteilen. Wenn dies der Fall wäre, müssten in den Filtern auf der rechten Kanalseite in etwa die gleichen Staubmassen wie in den Filtern auf der linken Seite erfasst werden. In Abbildung 6.2 werden die gesammelten Staubmassen aller Versuche aufsummiert und für den jeweiligen Messpunkt dargestellt.

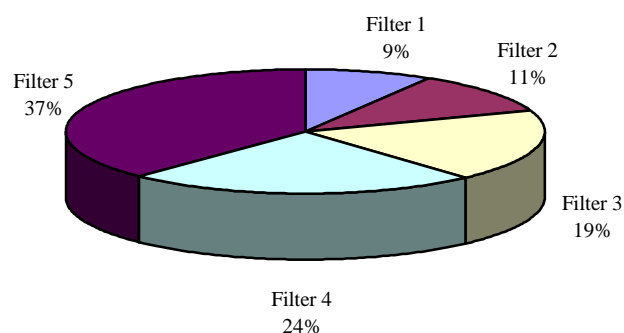


Abb. 6.2: Gesamtmassenverteilung (Filternummern gemäß Messprotokollen)

Diese Darstellung berücksichtigt jedoch weder die verschiedenen Staubarten noch die Absauggeschwindigkeit bzw. den Ort der Staubausbringung. Da bei sämtlichen Versuchen die Ausbringungsrichtung  $45^\circ$  nach links von der Absaugrichtung gewählt worden war liegt die Vermutung nahe, dass der Einsatz der Strahldüse im Messkanal bezüglich der Homogenisierung der abgesaugten Luft keine nennenswerten Verbesserungen nach sich zieht. Dies wurde auch durch gleichartige Versuche, die jeweils mit und ohne Druckbeaufschlagung an der Düse durchgeführt wurden, bestätigt. Durch Vorgaben aus dem EU-Projekt SMT4-CT97-2166 war der Einsatz der Strahldüse in den durchgeführten Versuchen jedoch trotzdem beibehalten worden.

Auffällig ist, dass bei dem Staub F 280 eine überproportionale Konzentration in der linken unteren Ecke des Messkanals festzustellen war. Hier ist an Filter 5 über die Hälfte des an allen 5 Filtern erfassten Staubes gesammelt worden (Abb. 6.3).

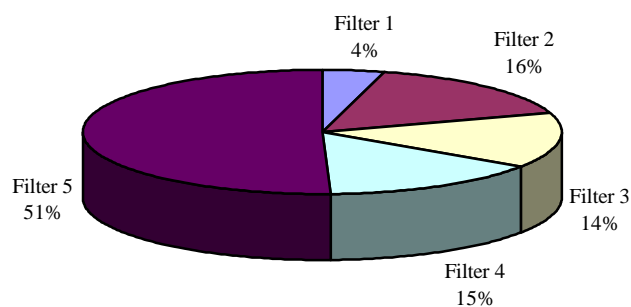


Abb. 6.3: Massenverteilung F 280 (Filternummern gemäß Messprotokollen)

Dies lässt sich durch die Ausbringungsrichtung, die hohe Dichte des Staubes und den Übergang von der Kabine über den Diffusor in den Messkanal erklären. Nach Verlassen der Düse an der Staubquelle wird das Aerosol von der Absaugung erfasst und in Richtung Messkanal gesogen. Dabei sinken die relativ schweren Partikel jedoch in Richtung Kabinenboden und setzen sich dort auch teilweise ab. (vgl. Kap. 6.1) Ein weiterer Teil der ausgebrachten Partikel setzen sich an der linken Seite der unteren Wandung des Diffusors ab. Der Rest bewegt sich dann in Richtung der Messstelle, wobei auch hierbei noch ein beträchtlicher Teil der Partikel sedimentiert. Dadurch entsteht eine erhöhte Konzentration der erfassten Partikel an Filter 5.

Eine weitere Besonderheit war bei der Verteilung von F 1200 an den Filtern festzustellen: Obwohl auch dieser Staub den oben beschriebenen Weg nehmen müsste, wenngleich auch durch die geringere Dichte weniger ausgeprägt, ist hier die Konzentration der Partikel in der oberen rechten Ecke des Messkanals verglichen mit den anderen Staubarten (Abb. 6.4) und bezüglich der Massenverteilung von F 1200 besonders hoch. (Abb. 6.5)

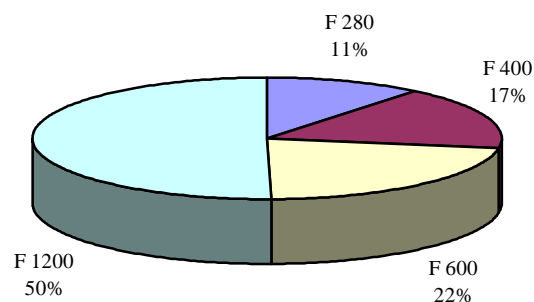


Abb. 6.4: Staubverteilung an Messpunkt 1

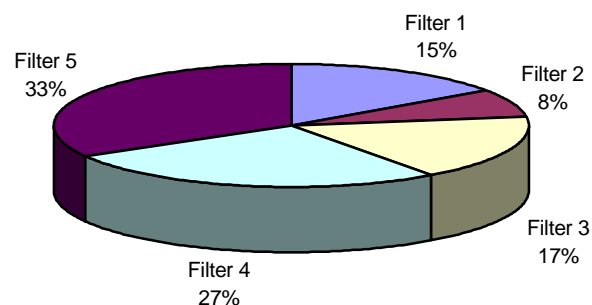


Abb. 6.5: Massenverteilung F 1200 (Filternummern gemäß Messprotokollen)

Diese Häufung an Messpunkt 1 lässt sich ebenfalls erklären: Auch dieser leichte Staub sinkt zunächst in der Kabine ab. Die abgesaugte Luft wird im Diffusor stark beschleunigt und die Massenträgheit lässt die leichten Staubpartikel nicht am Boden des Messkanals entlanggleiten sondern befördert sie am Beginn des Kanals von links unten nach rechts oben. Die in Kapitel 4.3.2 beschriebene inhomogene Zusammensetzung von F 1200 ist für die Häufung an Filter 5 verantwortlich, da die unerwünschten Partikel sich wie der bereits beschriebene Staub F 280, dessen ungefähre Größe sie auch haben, verhalten.

Die Verteilung der beiden anderen Stäube ähnelt der Verteilung von F 280, wobei bei F400 und F 600 die prozentuale Konzentration an Filter 5 weniger stark ausgeprägt ist und im Gegenzug die Partikelkonzentration an Filter 1 mit 7 % etwas höher ist.

Im Messkanal waren nach jeder Messung Ablagerungen von Partikeln vorhanden. Diese konzentrierten sich auf der linken Seite des Kanalbodens und waren abhängig von der Absauggeschwindigkeit und der Dichte des Staubes. Sowohl das Absinken der Partikel in der Kabine als auch das von der Dichte und der Größe der Partikel abhängige Verhalten im Diffusor und im Messkanal der Kabine ist beim Ermitteln der Emission in der Kabine aus den in den Filtern gesammelten Staubmassen unbedingt zu beachten.

### **6.3 Diskussion der Ergebnisse in Abhängigkeit von den Parametern**

Um die Einflüsse der Ausbringungshöhe, der Absauggeschwindigkeit und die Beschaffenheit des Aerosols auf die Erfassung der Staubmasse an den Filtern zu verdeutlichen ist die getrennte Betrachtung der genannten Parameter vonnöten. Auch die in Kapitel 6.1 und Kapitel 6.2 beschriebenen Ablagerungen und erhöhte Konzentrationen an bestimmten Stellen der Messanlage hängt in großem Maße von den bei der Emission herrschenden Randbedingungen ab.

#### **6.3.1 Ausbringungshöhe**

Bei den Versuchen wurden drei verschiedene Ausbringungshöhen  $h$  gewählt. Die Staubaustrittsdüse war in  $h = 25 \%$ ,  $h = 50 \%$  und in  $h = 75 \%$  der Kabinenhöhe angeordnet. Es wurden in jeder der drei Höhen alle vier Stäube bei zwei unterschiedlichen Absauggeschwindigkeiten von  $0,25 \text{ m/s}$  und  $0,33 \text{ m/s}$  untersucht.

Durch den Höhenunterschied, der von den jeweiligen Partikeln zu überwinden war, kam es bei der geringsten Höhe zu starken Ablagerungen am Kabinenboden und am Diffusor zwischen der Kabine und dem Tunnel der Messanlage. Diese waren beim Staub F 280 sehr deutlich ausgeprägt. Die großen Verluste vor dem Tunnel hatten eine vergleichsweise geringe Masse erfassten Staubes zur Folge. In Abbildung 6.6, welche die an den Filtern erfassten Stäube unabhängig von der Geschwindigkeit zeigt, ist die schlechte Eignung der Versuchsanordnung für Partikel mit großem Durchmesser deutlich zu sehen. An allen Filtern war nur eine sehr geringe Menge des Staubes F 280 erfasst worden.



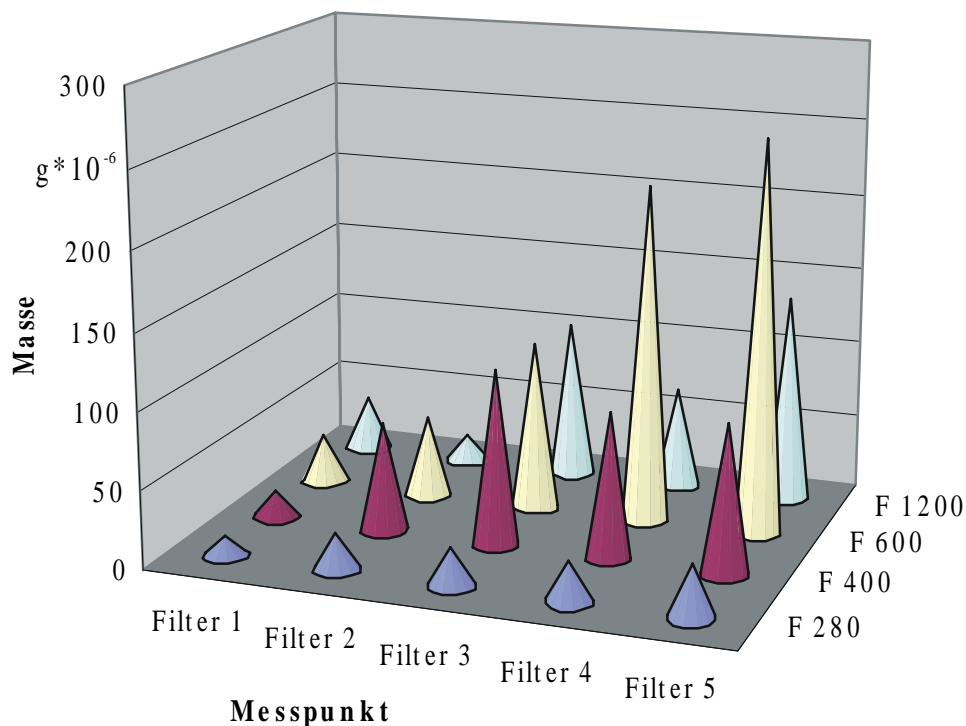


Abb. 6.6: Staubmassenverteilung bei 25 % Kabinenhöhe

Die gleichmäßige und für den Staub F280 unübliche Verteilung im Tunnel (Abb.6.7) lässt sich auf den in Kapitel 6.2 beschriebenen Effekt der Partikelbeschleunigung im Diffusor zurückführen.

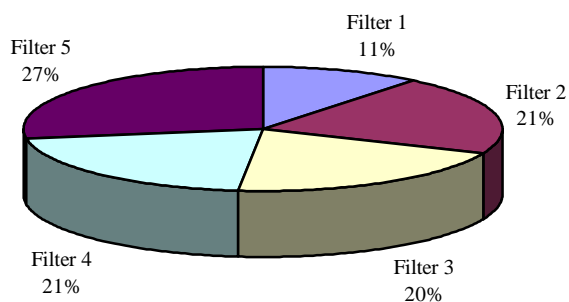


Abb. 6.7: Verteilung von F 280 bei niedriger Ausbringungshöhe

Bei mittlerer Ausbringungshöhe fällt besonders eine überhöhte Konzentration von F 280 in der linken unteren Ecke an Filter 5 auf (Abb. 6.8). Hier führt die Ausbringung des Staubes 40

cm über dem Boden des Messkanals und die um 45° nach links gerichtete Dispergierung zu einem genau auf Filter 5 zulaufende Partikelströmung. Auch die im Messkanal angebrachte Strahldüse kann diese Formation nicht auflösen. Auch die anderen Stäube weisen an Filter 5 eine Häufung der erfassten Partikel auf.

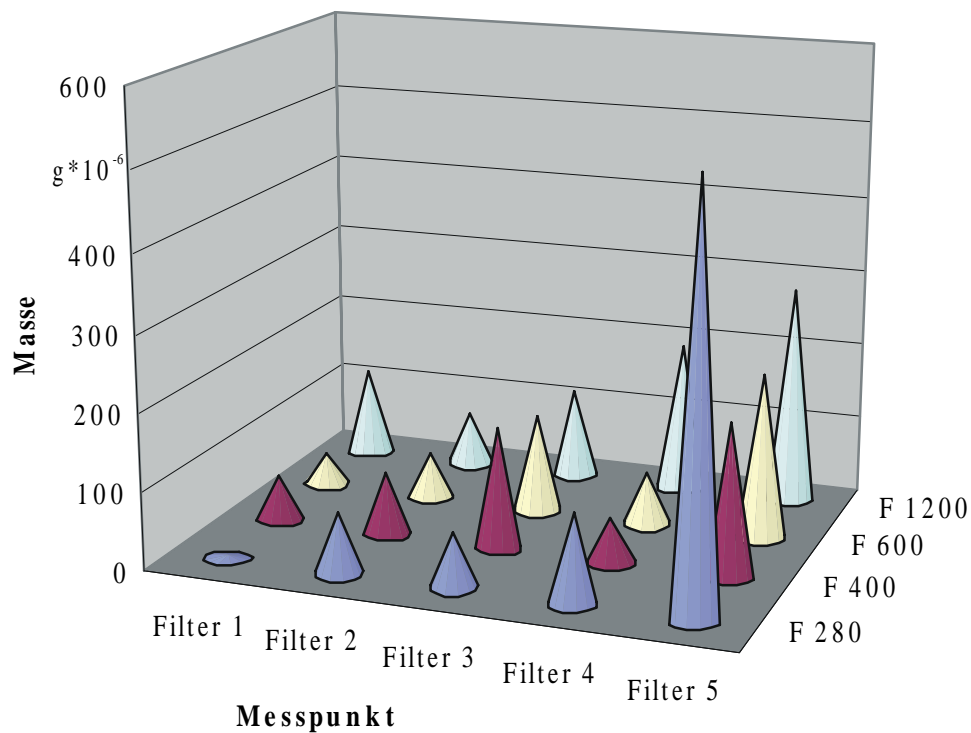


Abb. 6.8: Staubmassenverteilung bei 50 % Kabinenhöhe

Im Vergleich zu den Messungen bei 25 % Ausbringungshöhe lassen die Versuche, bei denen der Staub in der Kabinenmitte ausgebracht wurde insgesamt eine ausgeglichene Staubverteilung im Messkanal erkennen. Die Ausbringungsrichtung, die für die Charakteristik aller Staubmessungen verantwortlich war, darf bei der Bewertung des erfassten Staubes nicht außer acht gelassen werden.

Wenn der Staub in 75 % der Kabinenhöhe ausgebracht wird, hat dies mehrere positive Auswirkungen auf die Erfassung der Partikel im Messkanal und natürlich auch die daraus gezogenen Folgerungen welche die vorangegangene Emission betreffen. Die Ablagerungen am Kabinenboden sind hier verhältnismäßig gering. Ebenso setzt sich am Diffusor weniger Staub ab. Nachteilig wirkt sich der von den Partikeln zu überwindende Höhenunterschied aus, da diese im Diffusor in Richtung Boden des Messkanals beschleunigt werden und sich dort

auch ablagern. Die absolute Staubmasse, welche an den fünf Filtern erfasst wurde, war bei den Versuchen mit der mittleren Ausbringungshöhe am größten (Abb. 6.9).

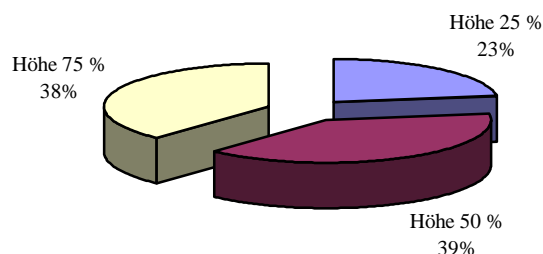


Abb. 6.9: Prozentuale Staubverteilung bei verschiedenen Emissionshöhen

Die Emission in 75 % Kabinenhöhe zog ein positiv zu wertendes homogeneres Bild der Staubverteilung an den Filtern im Messkanal nach sich (Abb. 6.10).

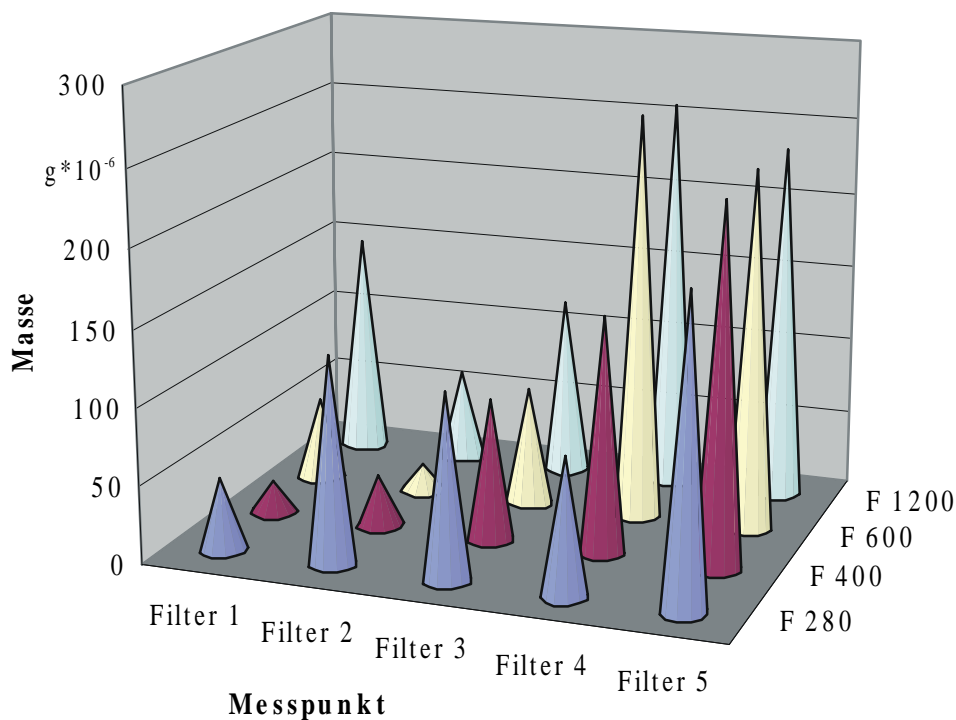


Abb. 6.10: Staubmassenverteilung bei 75 % Kabinenhöhe

### 6.3.2 Absauggeschwindigkeit

Um eine Aussage über die Bedeutung der Absauggeschwindigkeit auf die in den Filtern gesammelten Staubmassen und dadurch später auch auf die erfolgte Emission machen zu können, wurden alle vier Stäube in allen drei Ausbringungshöhen dispergiert und nachfolgend mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten abgesaugt. Diese Geschwindigkeiten wurden in der Messkabine durch die Frequenz der Absauganlage auf 0,25 m/s bzw. 0,33 m/s eingestellt. Im Diffusor zwischen Messkabine und dem Messkanal erhöht sich infolge der Einschnürung die Geschwindigkeit und erreicht im Messkanal 2,578 m/s bzw. 3,403 m/s. Da durch die Venturidüsen das abgesaugte Messluftvolumen auf exakt 22,6 l/min begrenzt wird, sind laut Vorgabe des EU-Projektes an den Filterköpfen die in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Trichter für die jeweilige Geschwindigkeit zu montieren. Durch die Anpassung der Messfläche an die Absauggeschwindigkeit im Anlagentunnel ist die Möglichkeit zum direkten Vergleich der verschiedenen Geschwindigkeiten erst möglich. Wenn man den jeweils gesamt ausgebrachten Staub zu der Staubmasse die in allen Versuchen der jeweiligen Absauggeschwindigkeit ins Verhältnis setzt, so überrascht das gewonnene Ergebnis: Bei der langsameren Geschwindigkeit werden 0,331 % des dispergierten Staubes an den Messpunkten erfasst, bei der schnelleren Absauggeschwindigkeit, die das Absetzen der Partikel verhindern und dadurch das Messergebnis verbessern soll, werden dagegen nur 0,319 % der ausgebrachten Staubmasse erfasst. Diese auf den ersten Blick minimal erscheinende Differenz stellt aber nach genauerer Betrachtung bei einer Absauggeschwindigkeit von 0,25 m/s eine Mehraufnahme von 3,76 % Staubmasse dar.

Wie bereits erwähnt wird der Staub unter 45° zur Mittelachse ausgebracht. In Abbildung 6.11 ist die obligatorische Häufung der gesammelten Partikel an den Filtern 4 und 5 deutlich zu sehen, jedoch waren auch in den restlichen drei Filter noch genügend Partikel angesaugt worden. Eine gleichmäßige Verteilung des Aerosols über die gesamte Messfläche ist bei der Absauggeschwindigkeit in der Kabine von 0,25 m/s ebenfalls in Abbildung 6.11 zu erkennen. Auch hier stellte die jeweilige gesamte Staubmasse, die während dieser Versuchsreihe an den Filtern erfasst wurde, die Vergleichsgrundlage für die Verteilung der Partikel im Messkanal dar.

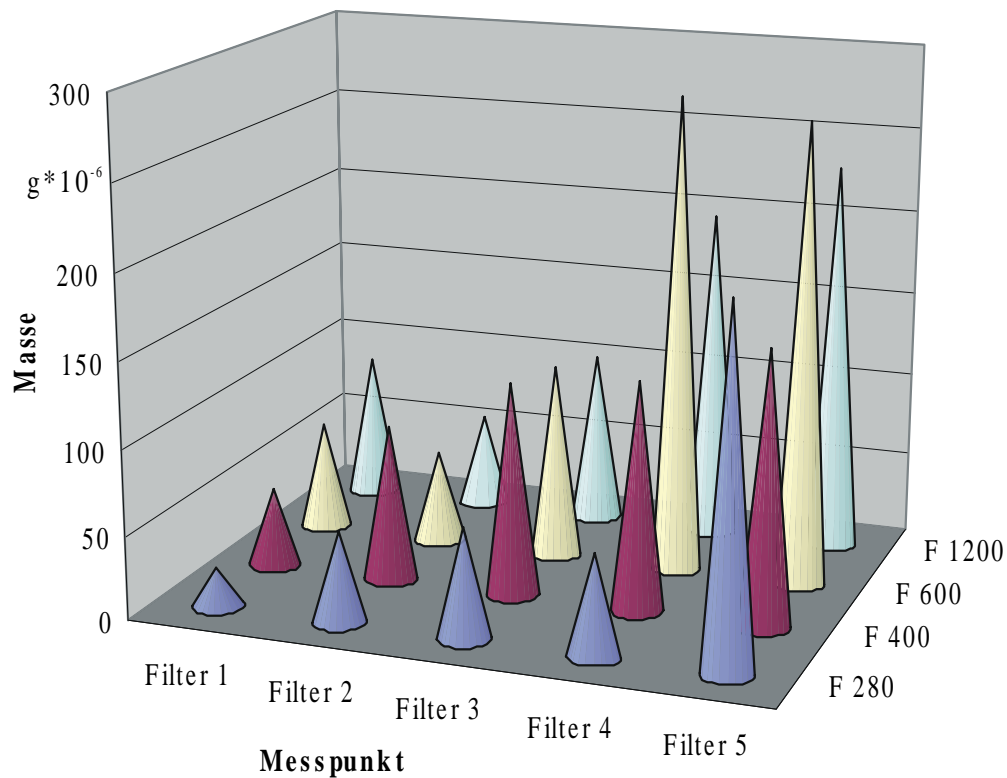


Abb. 6.11: Staubmassenverteilung bei Absauggeschwindigkeit 0,25 m/s

Die oben beschriebene gleichmäßige Verteilung der Partikel ist durch die hohe Absauggeschwindigkeit von 0,33 m/s nicht mehr zu erreichen. Wie in Abbildung 6.12 zu erkennen ist wird der größte Teil des in der Kabine ausgebrachten Staubes, bedingt durch dessen Ausbringungsrichtung, im linken Teil des Messkanals an den Filtern 4 und 5 erfasst. Die rechte Seite der Messfläche, welche von den Filtern 1 und 2 repräsentiert wird, weist jedoch im Vergleich zu der langsameren Geschwindigkeit eine sehr geringe Partikelkonzentration von F 400 und F 600 auf.

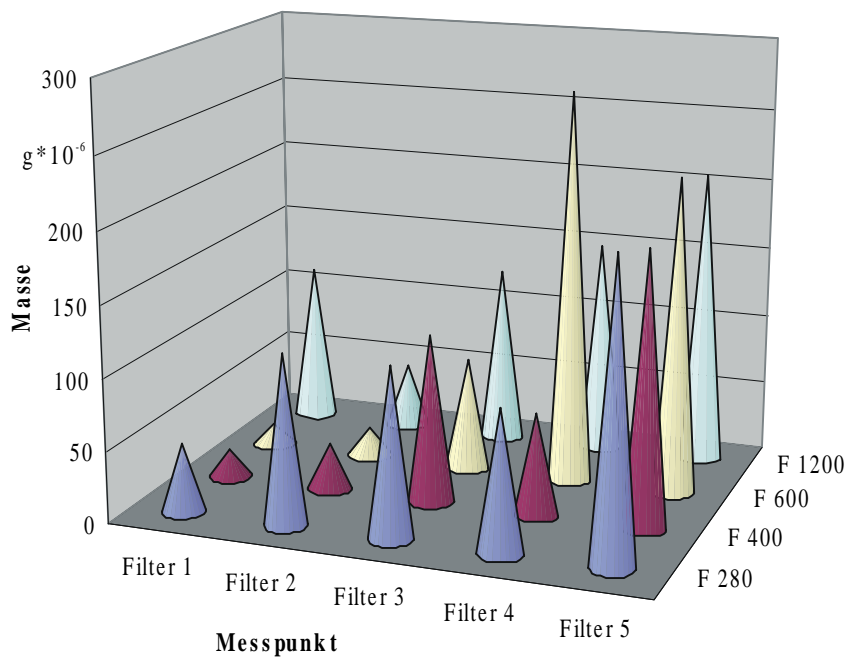


Abb. 6.12: Staubmassenverteilung bei Absauggeschwindigkeit 0,33 m/s

Wenn Partikel erfasst werden sollen die in der Dichte und der Größe dem Staub F 280 ähnlich sind, empfiehlt es sich eine schnelle Absauggeschwindigkeit zu wählen. In allen anderen vorliegenden Fällen ist eine Absauggeschwindigkeit von 0,25 m/s in der Kabine zu empfehlen. Hier werden insgesamt größere Staubmengen erfasst und die Partikelverteilung über die Messfläche im Absaugkanal der Anlage ist gleichmäßig. Wenn die Absauganlage mit einer niedrigeren Frequenz betrieben wird reduziert dies zum einen die Energiekosten und zum anderen die Geräuschemissionen in und an der Staubmesskabine.

### 6.3.3 Partikelgröße

In den Versuchen wurden neben der Bedeutung der Emissionshöhe und der vorherrschenden Absauggeschwindigkeit im Inneren der Messkabine auf die im Messkanal stattfindenden Konzentrationsmessungen auch der Einfluss der Partikelgröße untersucht. Es wurden die in Kapitel 4.3.2 genauer untersuchten und beschriebenen Stäube verwendet. Der Einfluss der Partikelgröße hängt mit der Wahl der sonstigen Rahmenbedingungen zusammen. Im

Folgenden werden alle vier Staubarten betrachtet und die Staubkonzentrationen im Messkanal bei allen Kombinationen der gegebenen und in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Parameter Allgemein sei hier auf die schon in Kapitel 6.3.2 beschriebene Häufung der Partikel an Messpunkt 5 hingewiesen, die als Auswirkung der Ausbringungsrichtung zu werten ist.

Bei Stäuben mit relativ großen Partikeln, wie sie bei F 280 vorliegen, kann man davon ausgehen, dass eine Emission in Bodennähe im Messkanal keine nennenswerte Konzentration erkennen lässt. Falls jedoch Messungen in geringer Höhe mit einer den von F 280 ähnlichen Partikeln stattfinden sollen ist in diesem Fall eine hohe Absauggeschwindigkeit zu wählen. In Abbildung 6.13 ist der Vergleich der beiden verwendeten Absauggeschwindigkeiten bei der Emission von F 280 in 25 % der Kabinenhöhe zu sehen.

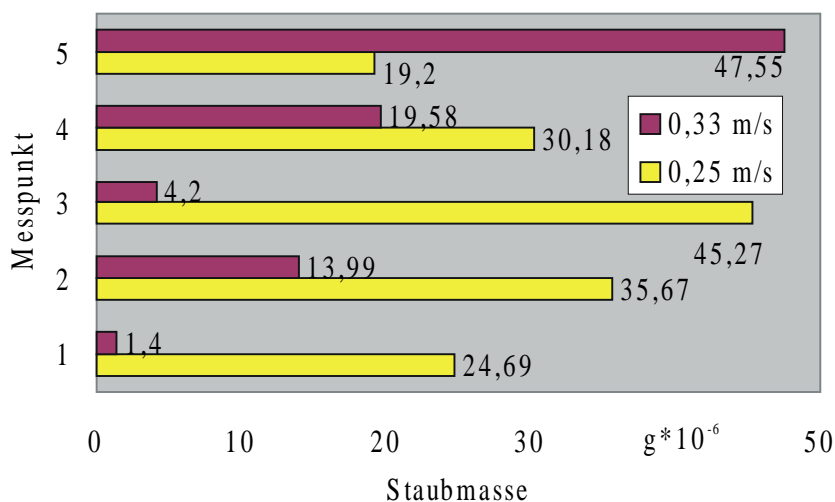


Abb. 6.13: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 280, h = 25 %

Die Summe der gesammelten Partikel in allen fünf Filtern ist bei der Geschwindigkeit von 0,25 m/s um 78,7 % höher als bei der Absauggeschwindigkeit von 0,33 m/s.

Wenn die gleichen Betrachtungen bei 75 % der Kabinenhöhe gemacht werden fällt auf, dass hier im Gegensatz zu der vorher beschriebenen Situation die höhere Absauggeschwindigkeit die besseren Ergebnisse liefert (Abb. 6.14). Die hier an den Filtern gesammelten Staubmasse war bei der größeren Absauggeschwindigkeit um 348 % höher als bei der selben Messung mit der Absauggeschwindigkeit von 0,25 m/s.

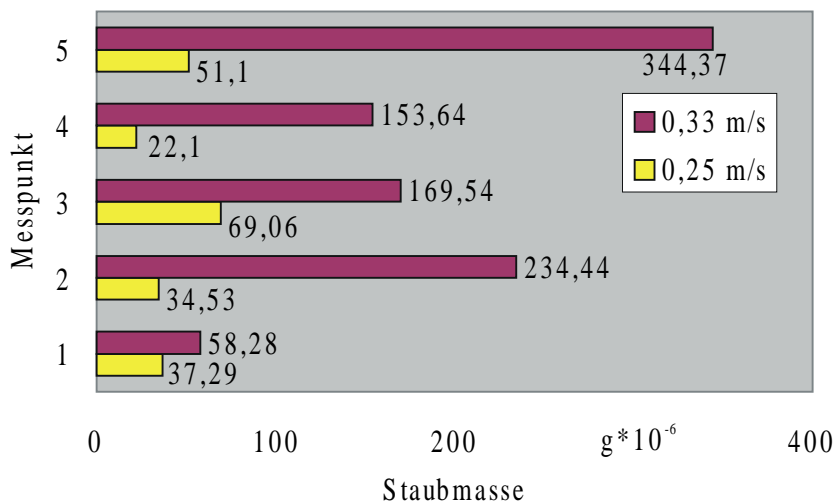


Abb. 6.14: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 280, h = 75 %

Wenn man die Messergebnisse bei einer Emission von F 280 im Bereich der halben Kabinenhöhe und den verwendeten Absauggeschwindigkeiten miteinander vergleicht ist hier die vorhandene Massendifferenz an den Filtern zwar gering, jedoch ist auch hier eine Absauggeschwindigkeit von 0,25 m/s zu bevorzugen (Abb. 6.15).

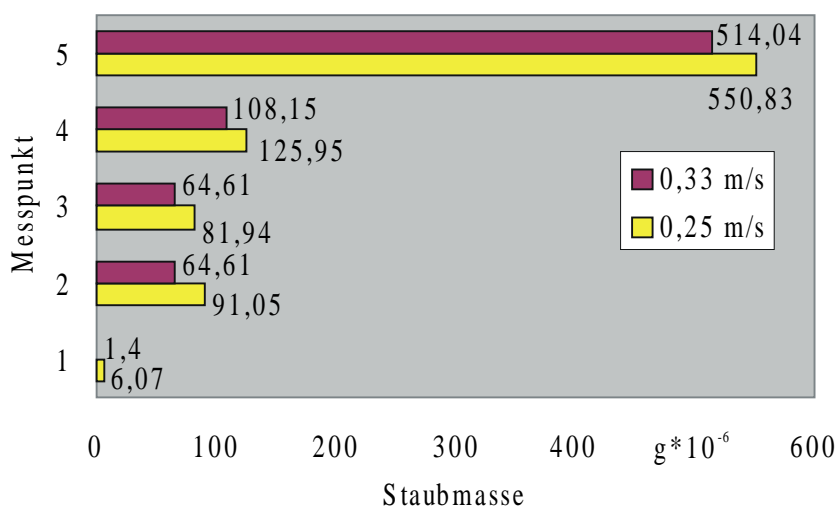


Abb. 6.15: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 280, h = 50 %

Wenn man den Staub F 400 bei verschiedenen Ausbringungshöhen und den zwei Geschwindigkeiten betrachtet so stellt man fest, dass bei den Emissionshöhen 25 % und 50 % der Kabinenhöhe eindeutig mit der langsameren Absauggeschwindigkeit die besseren



Messergebnisse durch eine homogenere Verteilung und ein hohe erfasste Gesamtmasse zu erzielen sind (Abb. 6.16 und Abb. 6.17). Hier ist auch eine hohe Konzentration in der unteren Hälfte des Messkanals an den Filtern 5,3 und 2 zu erkennen.

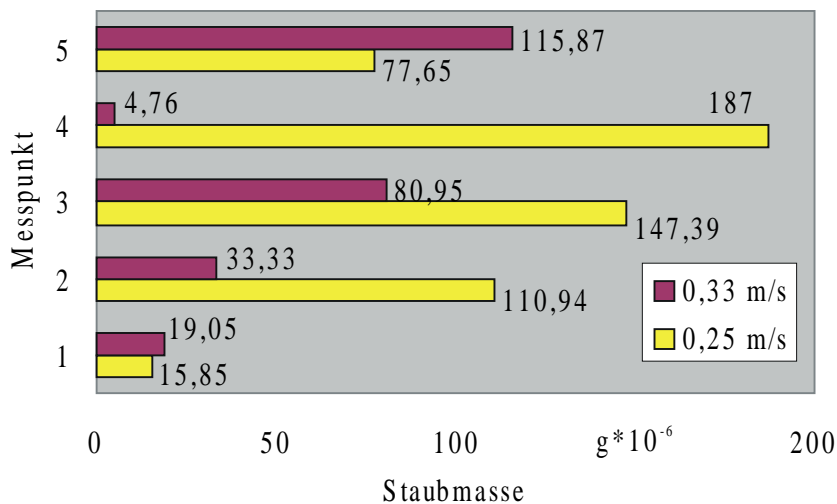


Abb. 6.16: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 400, h = 25 %

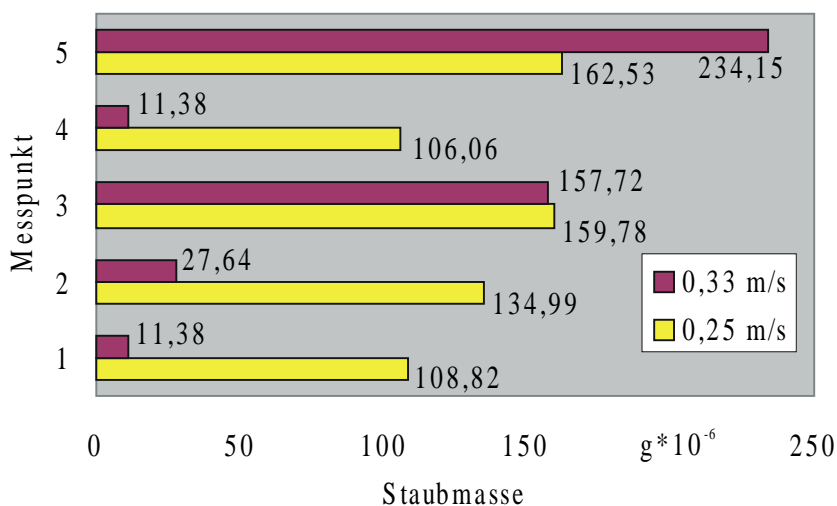


Abb. 6.17: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 400, h = 50 %

Bei dem hohen Ausbringungsort liefert die schnellere Absauggeschwindigkeit die besseren Werte. Im Messkanal ist hier eine Partikelhäufung in der linken Hälfte des Messkanals an den Filtern 5,4 und 3 festzustellen (Abb. 6.18).

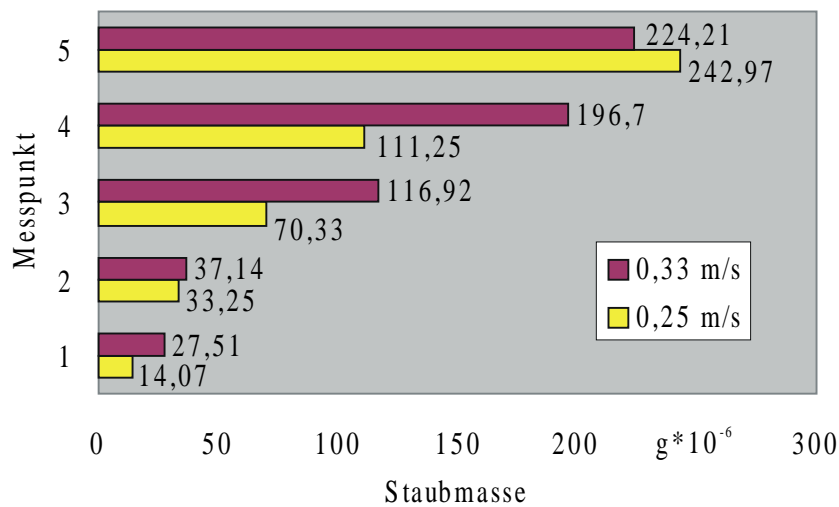


Abb. 6.18: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 400, h = 75 %

Bei der niedrigen Ausbringungshöhe ist bei F 600 zwar bei einer Absauggeschwindigkeit von 0,25 m/s eine relativ gleichmäßige Masseverteilung an allen 5 fünf Messstellen zu erkennen, jedoch rechtfertigt diese Situation eine um etwa den Faktor 2 höhere Staubmassenerfassung die höhere Absauggeschwindigkeit (Abb. 6.19).

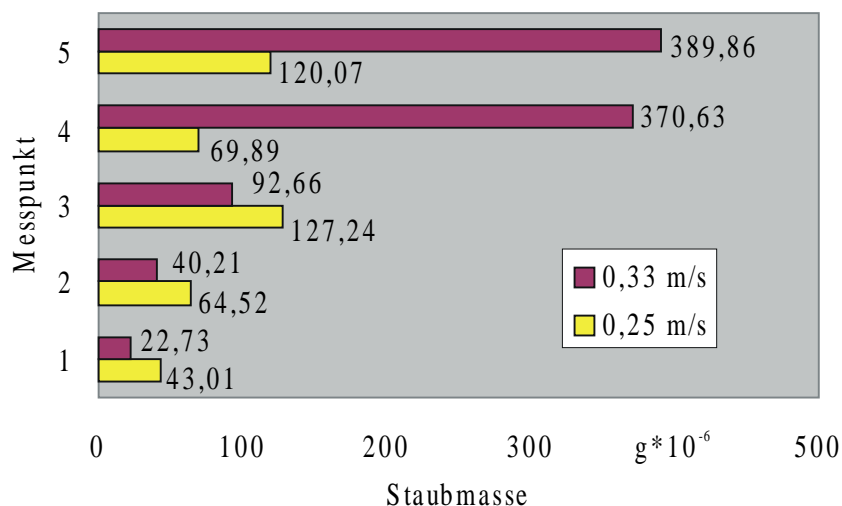


Abb. 6.19: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 600, h = 25 %

Bei den beiden anderen untersuchten Höhen der Emission verhält sich der Staub F 600 ähnlich wie die etwas größeren Partikel des Staubes F 400. Dies lässt sich in den Abbildungen 6.20 und 6.21 im Vergleich der gesammelten Staubmassen an den Filtern erkennen.

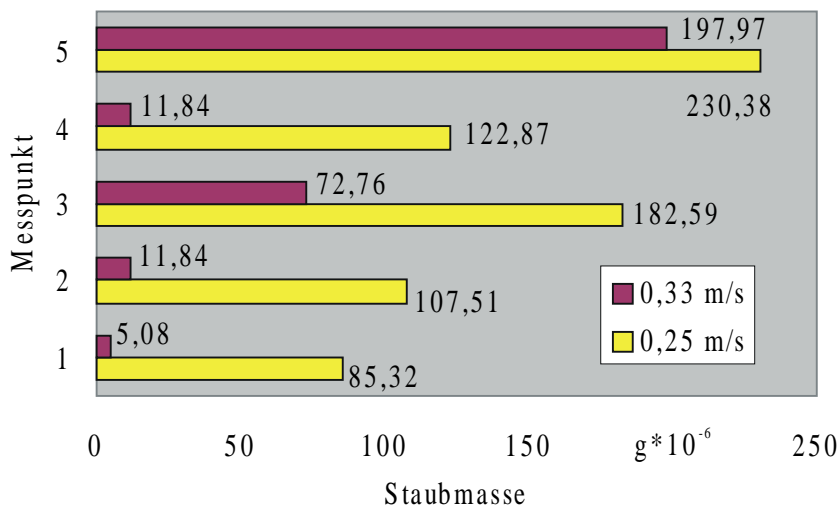


Abb. 6.20: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 600, h = 50 %

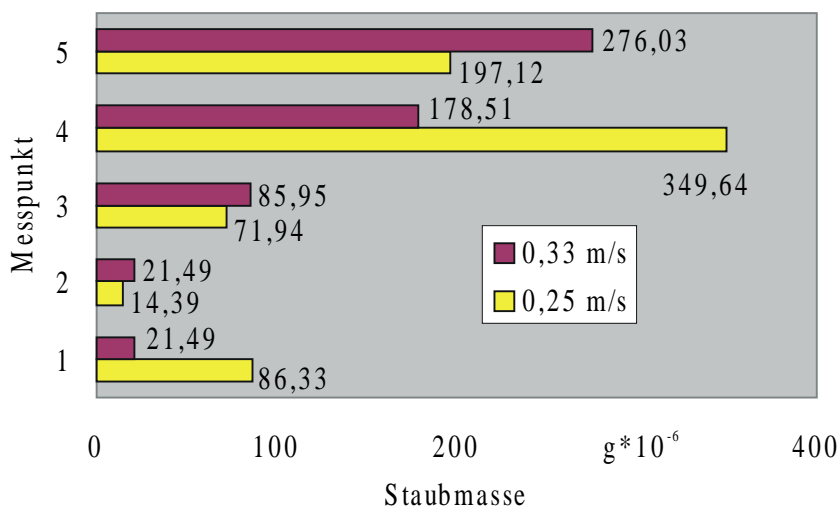


Abb. 6.21: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 600, h = 75 %

Bei der Untersuchung des Staub F 1200, der die kleinsten Partikel aufweist, ist als Besonderheit die Häufung von Partikeln im Messkanal auf der linken und der oberen Hälfte des Messkanals zu erkennen. Dies hängt aber von der gewählten Absauggeschwindigkeit und der Höhe ab in der das Aerosol freigesetzt wird. In Abbildung 6.22 erkennt man außerdem eine größere erfasste Gesamtmasse bei der schnelleren Absauggeschwindigkeit von 0,33 m/s.

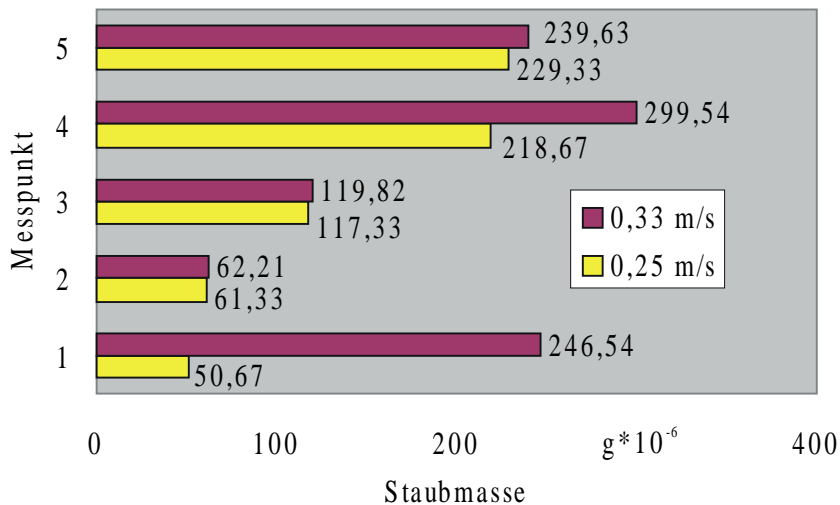


Abb. 6.22: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 1200, h = 75 %

Auch bei einer Ausbringungshöhe von 25 % der Kabinenhöhe lässt sich der Staub F 1200 wie schon F 600 mit einer Absauggeschwindigkeit von 0,33 m/s besser erfassen (Abb. 6.23).

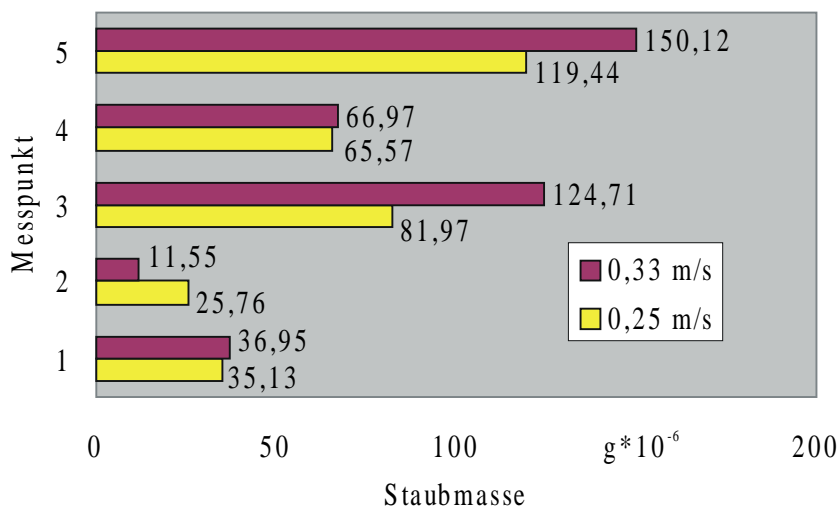


Abb. 6.23: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 1200, h = 25 %

Wenn man bei einer Ausbringungshöhe von 50 % der Kabine das Aerosol mit den verschiedenen Geschwindigkeiten absaugt so stellt man fest, dass sich für diesen Fall die Partikel von F1200 mit der niedrigen Absauggeschwindigkeit von 0,25 m/s zum einen auf die

Masse bezogen besser erfassen lassen und sie zum anderen das für F 1200 charakteristische und in Abbildung 6.24 erkennbare Konzentrationsschema im Messkanal aufweisen.

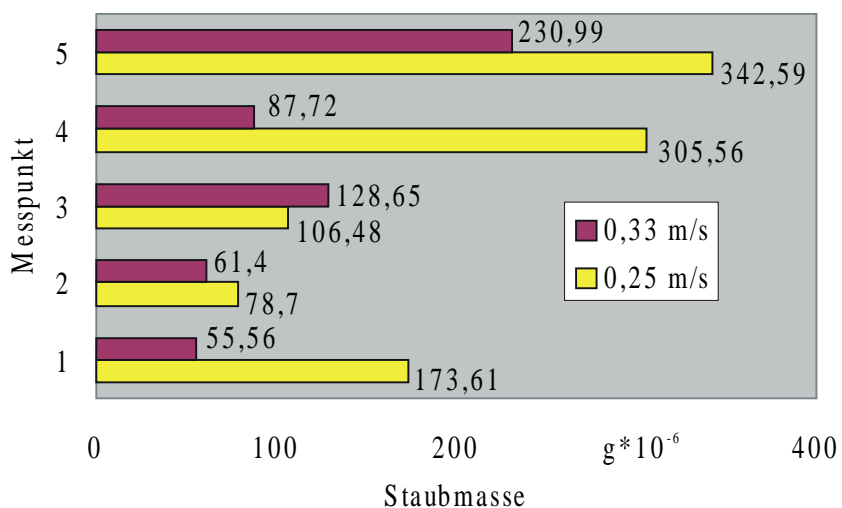


Abb. 6.24: Erfasste Staubmasse an den Filtern; F 1200, h = 50 %

## 7 Zusammenfassung

Ein Gruppe internationaler Institute, darunter auch das Institut für Werkzeugmaschinen an der Universität Stuttgart, beschäftigt sich mit der Problematik der Staubemission. Um eine europaweit gültige Norm zur Emissionsmessung in einem Staubmessstand nach DIN 33892 zu schaffen ist es zunächst unumgänglich sowohl die zum Vergleich herangezogenen Staubpartikel genau zu untersuchen als auch ein möglichst breites Spektrum Rahmenbedingungen, welche während der Emission herrschen könnten genauer zu beleuchten und zu bewerten.

In der vorliegenden Arbeit wurde zuerst die am Institut für Werkzeugmaschinen vorhandene Staubmesskabine an den im EU-Projekt SMT4-CT97-2166 vorgegebenen Zustand angepasst. Dazu waren Umbauten im und am Messkanal der Anlage sowie am Diffusor zwischen Kabine und Tunnel nötig. Da noch keine geeigneten Bauteile zur Probenahme im Messkanal vorhanden waren, mussten diese angefertigt und montiert werden.

Nachdem sich die Staubmesskabine in dem vorgeschriebenen Zustand befunden hat, waren die von allen Instituten eingesetzte Staubquelle sowie die vier Probestäube auf die jeweiligen Besonderheiten zu prüfen und die daraus resultierende Vorgehensweise bei der Versuchsdurchführung festzulegen.

Bei den anschließenden Versuchen, in denen jeder Staub in jeder möglichen Konstellation der Parameter dispergiert wurde, kristallisierte sich keine optimale Lösung bei der Wahl der Rahmenbedingungen heraus. Vielmehr war zu sehen, dass je nach Staubart und räumlicher Höhe der Emission die Absauggeschwindigkeit auf die herrschenden Rahmenbedingungen angepasst werden muss.

Wenn man dabei aber noch die in der Emissionsmessung von Elektrowerkzeugen üblicherweise inhomogene Zusammensetzung des Staubes betrachtet, so wird deutlich, dass eine ständige Variation der Rahmenbedingungen hier nicht mehr zum Erfolg führen kann. Vielmehr sind allgemein gültige Rahmenbedingungen für sämtliche Emissionsmessungen festzulegen und anhand gravimetrischer Vergleichsmessungen ein Instrument zur Entschlüsselung des im Messkanal gesammelten Staubkollektivs zu schaffen. Wenn der Zusammenhang zwischen dem erfassten Staubkollektiv und der tatsächlich ausgebrachten Staubmasse bekannt ist wird eine Aussage über die Einhaltung des gesetzlich vorgeschriebenen TRK-Wertes für Elektrowerkzeuge möglich sein. Damit wäre dann die Grundlage für eine neue Norm zur Emissionsmessung geschaffen.

## 8 Literaturverzeichnis

- /1/ Hölzer und Holzstäube – Arbeitsmedizinische und experimentelle Daten. BArbBl. (1998) Nr.1, S. 44
- /2/ Wirtz, C., u.a.: Atemwegssensibilisierung durch Holzstaub. Zbl. Arbeitsmed. 47 (1997), S. 336 – 342
- /3/ Technische Regeln für Gefahrstoffe: Begründungen und Erläuterungen zu Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 901) BArbBl. (1997) Nr. 4, S. 42 – 53, zuletzt geändert BArbBl. (1998) Nr. 10, S. 74 – 76. Carl Heymanns Verlag, Köln.
- /4/ Vom BIA empfohlene Probenahmegeräte und Verfahren ( Kennzahl 3005 ff). In: BIA - Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen 19. Lfg. XI/97. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt 1989 – Losbl.-Ausg.
- /5/ Technische Regeln für Gefahrstoffe: Holzstaub (TRGS 553). BArbBl. (1992) Nr. 9, S. 46 – 53, zuletzt geändert BArbBl. (1999) Nr. 3, S. 52 – 53. Carl Heymanns Verlag, Köln.
- /6/ Burger, N. und Dietrich, H.: Automatisches Prüfstandsnormal mit kritischbetriebenen Venturidüsen für Durchflussmessgeräte. tm – Technisches Messen 65 (1998) Nr. 1, S. 14 – 21
- /7/ DIN 33892 (August 1990): Staubemission technischer Arbeitsmittel – Bestimmung der Staubkonzentration unter worst-case Bedingungen – Basisverfahren. Beuth Verlag, Berlin.
- /8/ VDI-Richtlinie 3491, Blatt 9 (September 1989): Messen von Partikeln, Herstellen von Prüfaerosolen mittels eines Bürstendosierers. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4. Beuth Verlag, Berlin.
- /9/ ZH 1/120.41: Verfahren zur Bestimmung von Holzstaub. Ausgabe Januar 1989. Carl Heymanns Verlag, Köln.
- /10/ VDI-Richtlinie 2066, Blatt 7 (August 1993): Messen von Partikeln, Manuelle Staubmessung in strömenden Gasen, Gravimetrische Bestimmung geringer Stzaubgehalte, Planfilterkopfgeräte. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4. Beuth Verlag, Berlin.
- /11/ DIN 33891, Teil1 (Februar 1989): Staubemission technischer Arbeitsmittel – Bestimmung der Staubemissionsrate – Basisverfahren. Beuth Verlag, Berlin.
- /12/ VDI-Richtlinie 2040, Blatt 2: Berechnungsgrundlagen für die Durchflussmessung mit Drosselgeräten, Gebrauchsformeln und spezielle Formeln für Gase. Beuth Verlag, Berlin.

- /13/ DIN EN ISO 5167 – 1 (November 1988): Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten. Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in volldurchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt. Beuth Verlag, Berlin.
- /14/ Heisel, U., Weiss, E.: Gravimetrische Staubmessung und Tracer-Gas-Meßmethode im Vergleich. In HOB – Die Holzbearbeitung 11/1993, S. 123 – 126.
- /15/ Heisel, U., Weiss, E.: Tracer-Gas-Meßmethode – eine Alternative zur gravimetrischen Staubmessung an Holzbearbeitungsmaschinen? In HOB – Die Holzbearbeitung 6/1992, S. 23 – 28.
- /16/ VDI-Richtlinie 2066, Blatt 2 (August 1993): Messen von Partikeln, Manuelle Staubmessung in strömenden Gasen, Gravimetrische Bestimmung der Staubbeladung, Filterkopfgeräte (4 m<sup>3</sup>/h, 12 m<sup>3</sup>/h). VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4. Beuth Verlag, Berli



## **Anhang**

Messprotokolle