

AIC (374)

IG-TNO

#734

INSTITUUT VOOR MILIEUHYGIENE  
EN GEZONDHEIDSTECHNIEK TNO

publikatie nr. 625

DELFT - SCHCEMAKERSTRAAT 97 - POSTBUS 214

**Ausbreitung von staub- und gasförmigen  
Luftverunreinigungen in einer Pelletfabrik**

**von R.D.Crommelin, F.C.van Beukering,  
P.Boekesteijn und W.F.de Gids**

**Staub - Reinhaltung der Luft, 38(1978)10,413-417**



# Ausbreitung von staub- und gasförmigen Luftverunreinigungen in einer Pelletfabrik\*)

Von Robert Daniel Crommelin, Fredericus Cornelis van Beukering, Pieter Boekesteijn und Willem Frederik de Gids\*\*)

## Zusammenfassung

In der Brennerei einer Pelletfabrik wurden Luftgeschwindigkeiten, Temperaturen, Staub- und Fluoridkonzentrationen gemessen. Die Ergebnisse zeigen einen nachweisbaren Zusammenhang zwischen den Luftgeschwindigkeiten, Lufttemperaturen und Luftverunreinigungskonzentrationen. Das Luftströmungsmuster besteht aus einem Luftstrom, der infolge Konvektion über der Brennmaschine emporsteigt und durch Dachjalousien austritt. Die Luftzufuhr erfolgt durch Giebeljalousien. Der Windeinfluß zeigt sich durch Transport von Wärme und Luftverunreinigungen, nämlich in Querrichtung der Halle. Die Luftwechsellzahl dieser Fabrikhalle wird aus Berechnungen und aus Messungen bestimmt. Die Ergebnisse entsprechen einander gut.

## Summary

Air velocities, air temperatures and dust and fluoride concentrations were measured in a burning shop of a pellet plant. The results show that there is a clear relationship between the air velocities, air temperatures and air pollution concentrations. The air flow pattern consists of an air current which rises above the burning machine as a result of convection and escapes through roof grates. Air is supplied through facade grates. The transport of air and polluting substances, especially in the cross direction of the hall indicates the influence of the wind. The ventilation rate of the hall is determined by calculation and by measurements. The results of both determinations are in good agreement with each other.

## Résumé

On a mesuré les vitesses de l'air, les températures de l'air et les concentrations des poussières et de fluorure dans l'air d'une brûlerie d'une usine de pellets. Les résultats indiquent, qu'il y a une relation démontrable entre les vitesses de l'air, les températures de l'air et les concentrations de pollution de l'air. Le patron du courant d'air est formé de l'air montant au-dessus du brûloir par convection, qui s'évade par des grilles de toit. L'introduction de l'air se fait par des grilles de façade. L'influence du vent se montre par le transport de chaleur et des polluants, en effet par la direction en travers de la halle. La vitesse de ventilation de cette halle industrielle est déterminée par calcul et par des mesurages. Les résultats de ces déterminations se rapportent bien.

Schlagwörter: Ausbreitung in Innenräumen / Innenraumverunreinigung / Konvektionsströmung / Konzentrationsmessung / Staub; Ausbreitung / Wärmeausbreitung

## 1 Einleitung

Oft werden in Fabrikhallen durch einen dort ablaufenden Prozeß Stäube frei, die für die beschäftigten Personen lästig oder schädlich sein können. Dann ist es erwünscht, die Stäube, dort wo sie frei werden, abzusaugen. Das ist aber nicht immer möglich. Die Stäube breiten sich dann in der Halle aus.

Manchmal, und zwar in der Eisen- und Stahlindustrie, wird beim Prozeß neben diesen Stäuben auch Wärme frei, die ebenfalls die Arbeitsbedingungen nachteilig beeinflussen kann.

Wie in einer früheren Studie schon dargestellt wurde [1], kann die Ausbreitung von Wärme und Luftverunreinigungen in einer Fabrikhalle und der Effekt etwaiger Maßnahmen besonders gut mit maßstabgerechten Modellen untersucht werden. Für die Entwicklung einer guten Modelltechnik braucht man aber Meßergebnisse von bestehenden Fabrikhallen, mit denen die Meßergebnisse von Modellen dieser Hallen verglichen werden können.

Dazu wurden in einer ersten Studie vom Forschungsinstitut für Umwelthygiene TNO, mit Subvention der Europä-

ischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl, in der Halle einer elektrolytischen Verzinnelei (S-Halle) der Hoogovens IJmuiden B.V. Messungen durchgeführt. Im Augenblick wird gerade eine Modelluntersuchung dieser Halle durchgeführt, um ganz allgemein bessere Einsichten in die Ausbreitung von Wärme und Staub zu gewinnen. Es ist aber erwünscht, auch in einer anderen Fabrikhalle zu messen. Im Einvernehmen mit Hoogovens wurde dafür die Brennerei der Pelletfabrik gewählt.

Sowohl in der S-Halle als auch in der Brennerei der Pelletfabrik bilden und verbreiten sich Wärme und Luftverunreinigungen. Die Luftströmung, durch die die Ausbreitung bestimmt wird, wird in beiden Hallen hauptsächlich durch die Wärmeentwicklung der Maschinen verursacht.

## 2 Die Brennerei der Pelletfabrik

In einer Pelletfabrik wird feines Erz zu hartgebrannten Kügelchen, sog. Pellets, mit einem Durchmesser von etwa 12 mm verarbeitet [2]. Diese Pellets bilden den Grundstoff für die Hochöfen. Das Erz wird nacheinander gemahlen, befeuchtet und in rotierenden Trommeln zu Kügelchen geformt. In diesem Zustand gelangen die Kügelchen dann in die Halle (Brennerei), in der auch die Untersuchung stattfand. In der Brennmaschine werden

die Kügelchen getrocknet, vorgewärmt, gebrannt, gekühlt und schließlich gesiebt. Die Pellets werden mit Rostwagen in die Brennmaschine transportiert. Die Brennzonen in dieser Maschine ist die wichtigste Wärmequelle (siehe Bild 2). Die Luftverunreinigungen bestehen aus Erzstaubteilchen und Gasen, von denen Schwefeldioxid und Fluoride am meisten vorkommen.

Lokale Erzstaubquellen findet man auch in der Sieberei und am Beginn und am Ende der Brennmaschine, wo die Pellets wieder von den Rostwagen heruntergeworfen werden.

Von den gasförmigen Verunreinigungen gelten die Fluoride als die schädlichsten. Deshalb und aus praktischen Gründen wurde beschlossen nur diese Bestandteile zu messen. Es zeigte sich, daß Fluoride hauptsächlich in den Trocken- und Brennzonen frei werden (siehe Bild 4).

Die Fabrikhalle hat über die ganze Länge drei Stockwerke. Für die durch die Wärmeentwicklung und Ventilation auftretenden Luftbewegungen und die dadurch verursachte Ausbreitung von Wärme und Luftverunreinigungen ist nur der Raum über dem dritten Stock wichtig.

In den darunterliegenden Räumen gibt es zwar auch Luftverunreinigungen aber keine systematischen Luftbewegungen, so daß diese Räume nicht für die Untersuchungen geeignet sind. Die wichtigsten Abmessungen der Halle sind: Länge:

\*) Veröffentlichung Nr. 625 des Forschungsinstitutes für Umwelthygiene, TNO, Delft, Niederlande. Untersuchung mit Subvention der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl.

\*\*) Anschrift der Verfasser: s. Autorenverzeichnis

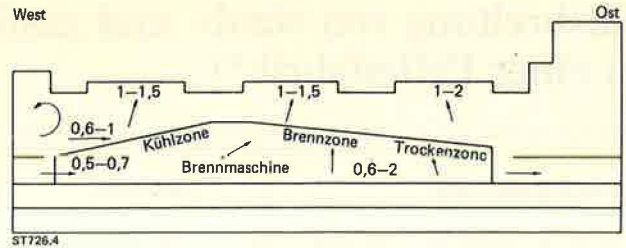
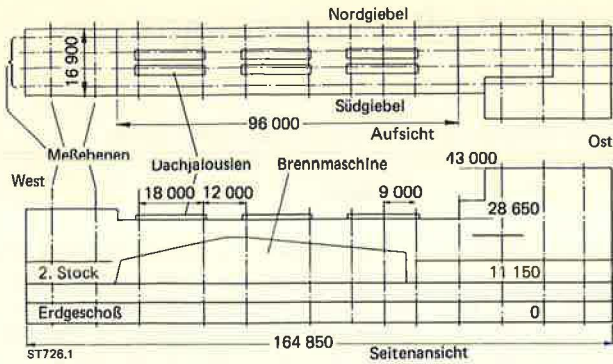


Bild 4: Luftströmungsmuster in einem Längsschnitt der Brennerei (Luftgeschwindigkeit in m/s)

Bild 1: Geometrie der Brennerei und Sieberei der Pelletfabrik mit den vertikalen Schnitten (Maße in mm)

164,8 m; Breite: 16,9 m; Höhe: variierend von 28,7 bis 43 m (Bild 1).

Bild 1 zeigt die Meßflächen. Es wurde immer in den Schnittlinien der Meßflächen gemessen. Bild 2 gibt einen Querschnitt der Halle bei den mittleren Dachjalousien mit den Meßstellen wieder. Es muß bemerkt werden, daß die Luftleitung in Bild 2 nicht über die ganze Länge der Halle läuft. Es wurde ausschließlich unter und neben dieser Luftleitung gemessen, nicht darüber.

### 3 Meßanordnungen

Es wurde vom Dach aus durch die Dachjalousien und vom Boden des zweiten Stocks aus gemessen. Die Meßgeräte wurden in gleicher Weise wie bei der vorigen Untersuchung [1] an Schnüren und mittels Plastikrohren durch die Dachjalousien vom Dach aus hinuntergelassen. Die Messungen vom zweiten Stock aus wurden mit einem fahrbaren Gestell aus fünf ineinander schiebbaren Rohren vorgenommen. In völlig ausgeschobenem Zustand ist das Gestell 12,5 m hoch (Bild 3).

#### a) Messungen der Luftgeschwindigkeiten und Luftströmungsrichtungen

Ebenso wie in der vorigen Untersuchung [1] wurde die Luftströmungsrichtung durch Einblasen von Rauch in die mit Löchern versehenen Rohre bestimmt. Die Rohre bestanden aus Rohrstücken von 2,5 m Länge, die miteinander verbunden werden konnten, um ihre Gesamtlänge an die örtlichen Umstände anpassen zu können. Durch visuelle Beobachtung der Rauchfahnen konnte die Richtung der örtlichen Luftströmung bestimmt werden. Die Luftgeschwindigkeiten wurden mit von unserem Institut entwickelten Anemometer gemessen die besonders für niedrige Luftgeschwindigkeiten geeignet sind. Die Anemometer waren an den Rohren befestigt.

#### b) Messung der Temperaturen

Die Temperaturen wurden mit Thermoelementen gemessen. Bei den Messungen von den Dachjalousien aus waren diese an Schnüren befestigt, bei den Messungen am Boden an Gestellen.

#### c) Messung der Staubkonzentrationen

Zur Bestimmung der Staubkonzentrationen wurde Luft acht Minuten lang durch ein Membranfilter gesaugt. Durch Wiegen des Filters vor und nach der Messung wurde die Massenkonzentration bestimmt. Ebenso wie bei den Temperaturmessungen waren auch die Filtersonden an Schnüren (an den Dachjalousien) und an Gestellen befestigt.

#### d) Messung der Fluoridkonzentrationen

Etwa 30 l Luft wurden durch ein mit NaOH imprägniertes Filter gesaugt. Die in der Luft befindlichen Fluoride wurden

durch das NaOH gebunden. Der Sammelwirkungsgrad lag bei etwa 90%. Die Menge der auf diese Weise gebundenen Fluoride wurde mit der sogenannten Orionelektrode bestimmt, die für Fluoride spezifisch ist [3].

## 4 Meßergebnisse

#### a) Luftströmungsmuster

Die Rauchexperimente und die Luftgeschwindigkeitsmessungen gaben ein klares Bild der Luftströmung in der Halle. Über der Brennmachine steigt die Luft wegen der dort vorhandenen Wärmeentwicklung empor. Darauf strömt sie durch die sechs Dachjalousien hinaus. Außerdem werden via Brennmachine etwa 400 000 m<sup>3</sup>/h Luft abgesaugt. Die Luftzufuhr erfolgt durch Jalousien in den Nord- und Südgiebeln. Bild 4 stellt die Luftströmungen in einem vertikalen Längsschnitt der Halle dar, Bild 5 die Luftströmungen in einem Querschnitt in der Hallenmitte.

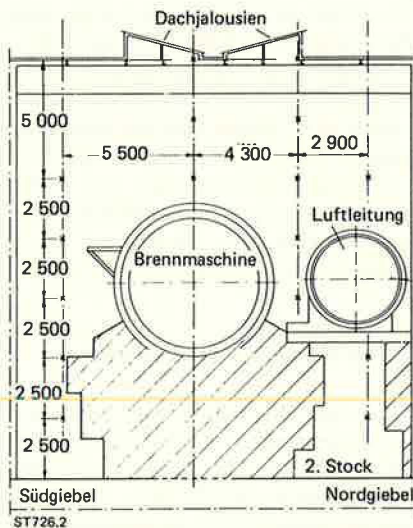
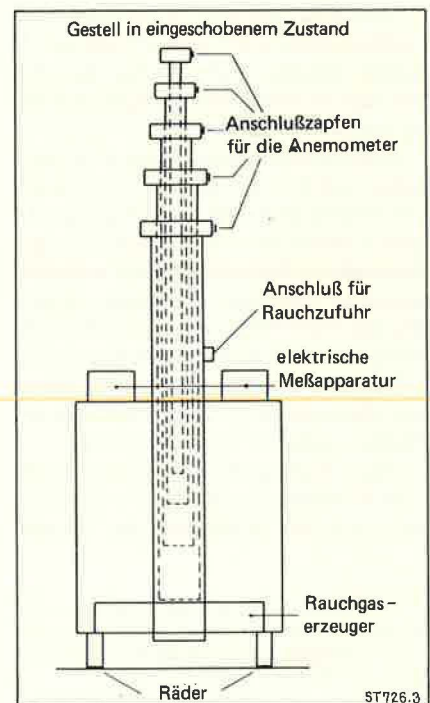


Bild 2: Die Meßpunkte in einem Querschnitt der Brennerei in der Mitte der Pelletfabrik (Maße in mm)

Bild 3: Ausschiebbares und fahrbares Gestell für die Messung in den hochliegenden Punkten vom zweiten Stock aus



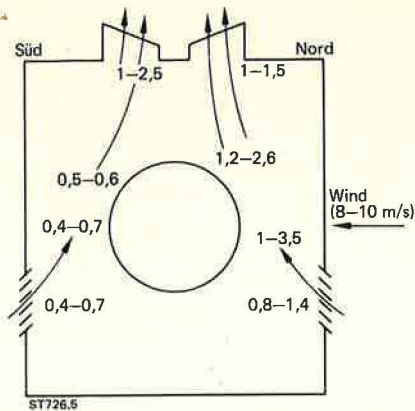
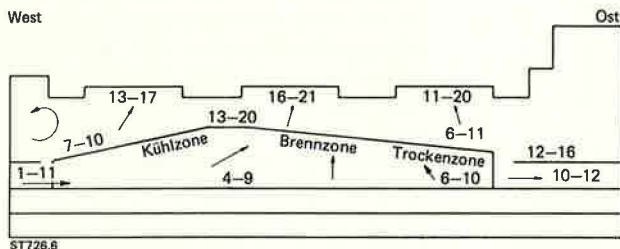


Bild 5: Luftströmungsmuster mit Geschwindigkeitsverteilung (in m/s) in einem Querschnitt in der Mitte der Brennerei bei Nordwind

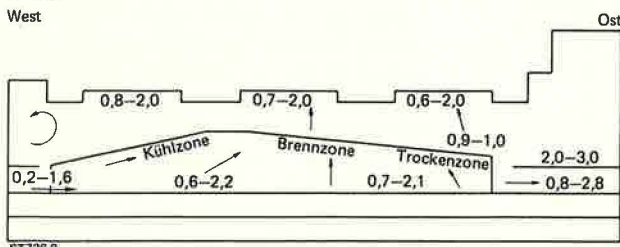
Die Luft steigt über die Brennmachine praktisch unabhängig vom Wind empor. Richtung und Geschwindigkeit der durch die Jalousien in den Seitengebäuden und über den Boden zuströmenden Luft werden jedoch sehr stark vom Wind beeinflusst. Bild 5 zeigt dies klar; die Luftgeschwindigkeiten bei den Jalousien im Nordgiebel sind nämlich wegen des Nordwindes viel höher als bei denen im Südgiebel.

### b) Temperaturen

Die Außentemperatur wird u. a. von der Tageszeit bestimmt. Eine Reihe von Messungen erfaßte aber einen ganzen Tag. Deshalb wurde in jedem Meßpunkt der Unterschied zwischen der gemessenen Temperatur und der im Augenblick der Messung herrschenden Außentemperatur bestimmt. Auf diese Weise konnte ein zuverlässiges Bild der Ausbreitung und Abfuhr der von der Brennmachine entwickelten Wärme erzielt werden. In den Bildern 6 und 7 sind die Temperaturunterschiede in einem vertikalen Längsschnitt und in einem Querschnitt der Halle dargestellt.



ST726.6



ST726.8

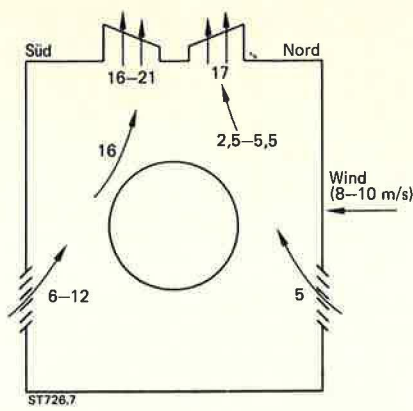


Bild 7: Temperaturunterschiedsverteilung (in K) in einem Querschnitt in der Mitte der Brennerei bei Nordwind

Die Bilder 6 und 7 zeigen deutlich den Zusammenhang zwischen der Luftströmung und den Temperaturunterschieden zur Außentemperatur, die ein Maß für die von der Luft angenommene Wärme sind. Die höchsten Temperaturunterschiede findet man über der Brennmachine in der durch die mittleren Dachjalousien ausströmenden Luft. Die große Streuung der Temperaturunterschiede neben der Brennmachine in Bild 6 wird durch den Wind verursacht. Nördlich von der Brennmachine sind, wie Bild 7 zeigt, die Temperaturunterschiede beträchtlich niedriger als südlich. Aus diesem Bild geht auch hervor, daß kältere und wärmere Luft sich über der Brennmachine ziemlich gut mischen.

### c) Staubkonzentrationen

Wie bereits in Abschnitt 2 bemerkt, werden beim Sieben und an Beginn und Ende der Brennmachine Staubteilchen frei. Die kleinen Teilchen am Ende der Maschine werden mit der Luft zur Brennmachine geführt, von dort nach oben und durch die Dachjalousien hinaus. Im Osten der Halle, über der Sieberei, findet

eine lokale Ausbreitung von Staub statt. Dieser Staub wird durch die östlichen Dachjalousien abgeführt. Wegen des Nordwindes sind die Staubkonzentrationen an der Nordseite der Brennmachine beträchtlich niedriger als an der Südseite. Bild 8 gibt einen Eindruck der Konzentrationsverteilung in einem Längsschnitt der Halle.

Ebenso wie die Temperaturunterschiede sind auch die Staubkonzentrationen an der Nordseite des Tunnels infolge des Nordwindes bedeutend niedriger als an der Südseite.

In der ganzen Halle schwankt die Staubkonzentration stark mit Ort und Zeit. Ein systematischer Konzentrationsverlauf mit der Länge oder Höhe fehlt, weil es verschiedene Staubquellen in der Halle gibt. Nur im Osten, wo die Halle an die Sieberei grenzt, sind die Konzentrationen in den höheren Stockwerken

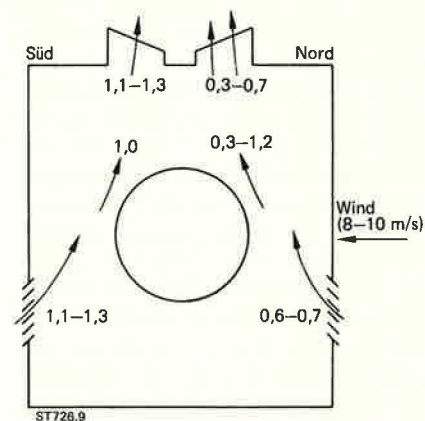


Bild 9: Staubkonzentrationsverteilung (in mg/m<sup>3</sup>) in einem Querschnitt in der Mitte der Brennerei bei Nordwind

höher als an anderer Stelle. Bild 9 zeigt den Einfluß des Windes auf den Konzentrationsverlauf in der Querrichtung.

Die Konzentrationen über die ganze Höhe der Nordhälfte eines Querschnitts sind viel niedriger als in der Südhälfte. Daraus würde man, im Gegensatz zu Bild 7, schließen, daß keine starke Mischung der Luft über der Brennmachine auftritt.

Die Fluoridkonzentrationen (siehe Bilder 10 und 11) weisen aber dennoch auf eine starke Mischung hin, so daß sie wohl doch vorhanden sein wird.

### d) Fluoridkonzentrationen

Im Gegensatz zu den Staubteilchen werden die Fluoride nur an einer einzigen Stelle in der Halle frei, nämlich an der östlichen Öffnung der Brennmachine, durch die die Pellets im Rostwagen in die Maschine hineingebracht werden. Bild 10

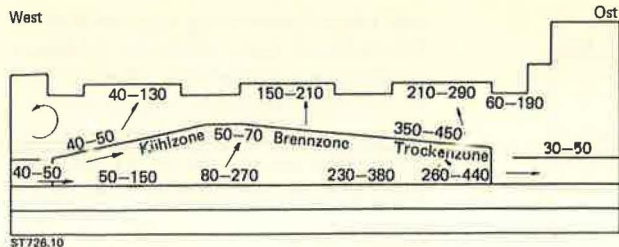


Bild 10: Verteilung der Fluoridkonzentrationen in einem Längsschnitt der Brennerei (Konzentrationen in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft)

zeigt dies deutlich durch die Verteilung der Konzentrationen in der Längsrichtung.

Die Konzentrationen haben ein Maximum neben und über dem Ostende der Brennmachine und nehmen in westlicher Richtung stark ab. Auch ganz im Osten der Halle sind sie sehr niedrig. Ebenso wie bei den Staubteilchen schwanken auch die Fluoridkonzentrationen stark mit Ort und Zeit. Auch hier werden die starken Variationen der Konzentrationen neben der Maschine durch den Wind verursacht. Die Konzentrationen an der Nordseite der Maschine sind niedriger als an der Südseite.

Die Darstellung des Konzentrationsverlaufes über einen Querschnitt in der Hallenmitte in Bild 11 zeigt, daß der Windeinfluß auf die Fluoridkonzentration derselbe ist wie auf die Temperaturunterschiede und Staubkonzentrationen. Die Fluoridkonzentrationen sind, ebenso wie die Temperaturunterschiede bei den Dachjalousien, ungefähr gleich hoch, so daß man aus diesem Grunde auf eine gute Mischung der über der Maschine aufsteigenden Luft schließen muß.

## 5. Ventilation

Die ein- und ausströmenden Luftmassen wurden an verschiedenen Tagen,

nämlich am 6. November 1975 und am 28. Januar 1976, bestimmt. Hierbei wurden die folgenden Meßverfahren benutzt:

Verfahren 1: Messung der Luftgeschwindigkeiten in den Dach- und Seiten- giebeljalousien;

Verfahren 2: Messung der Druckunterschiede über den Jalousien und Bestimmung des Mittels über die Meßperiode (etwa fünf Stunden);

Verfahren 3: Berechnung der Massenströme mit Hilfe eines Rechenmodells, in dem der Druck in der Halle aus den Drücken an den Außenseiten der Halle und dem Luftströmungswiderstand der Jalousien berechnet wird. Man geht dabei von der mittleren Windrichtung und Windgeschwindigkeit in der Meßperiode aus:

Verfahren 4: Wie Verfahren 3, aber die Druckunterschiede sind hier ausschließlich aus den Temperaturunterschieden zwischen der Halle und der Außenluft berechnet worden. Also kein Windeinfluß, aber nur thermischer Zug.

Die Druckunterschiede wurden mit elektrischen Druckfühlern gemessen, mit denen auch schnelle Druckschwankungen registriert werden können.

Die Tabellen 1 und 2 geben eine Übersicht der ein- und ausströmenden Luftmassen in der Brennerei, respektive am 6. November 1975 und am 28. Januar 1976.

Tabelle 1: Mittlere Massenströme der ein- und ausströmenden Luft am 6. November 1975 (Südwind)

Bestimmungsverfahren	Zufuhr in kg/s			Abfuhr in kg/s				Luftwechselzahl in $\text{h}^{-1}$	
	$\phi m_1$	$\phi m_2$	gesamt	$\phi m_2$	$\phi m_3$	$\phi m_4$	gesamt	bei	ab
1	861	98	959	48	707	133	888	32	31
2	807	200	1007	151	694	133	978	34	34
3	787	72	859	0	726	133	859	29	30
4	350	311	661	0	528	133	661	22	23

Tabelle 2: Mittlere Massenströme der ein- und ausströmenden Luft am 28. Januar 1976 (Südostwind)

Bestimmungsverfahren	Zufuhr in kg/s			Abfuhr in kg/s			Luftwechselzahl in $\text{h}^{-1}$	
	$\phi m_1$	$\phi m_2$	gesamt	$\phi m_3$	$\phi m_4$	gesamt	bei	ab
2	389	258	647	610	140	750	20	25
3	356	335	691	551	140	691	22	23
4	293	364	657	517	140	657	21	22

Hierin ist:  $\phi m_1$  = Massenstrom durch die Jalousien im Südgiebel,  
 $\phi m_2$  = Massenstrom durch die Jalousien im Nordgiebel,  
 $\phi m_3$  = Massenstrom durch die Jalousien im Dach und  
 $\phi m_4$  = Massenstrom, abgesaugt beim Prozeß in der Brennmachine.

Im Rechenmodell (Verfahren 3 und 4) ist man davon ausgegangen, daß die totalen ein- und ausströmenden Luftmassen gleich sind. Bei den experimentellen Verfahren 1 und 2 zeigt es sich, daß die Massenbilanz in der Praxis nicht ganz stimmt. Die Luftwechselzahl basiert auf den ein- und ausströmenden Volumenströmen. Die auf den ausströmenden Luftmassen basierende Luftwechselzahl ist etwas höher als die auf den einströmenden Luftmassen basierende, falls die Massenströme gleich sind.

Während der Meßperiode am 28. Januar 1976 erachtete man die Messung der Luftgeschwindigkeiten in den Ventilationsöffnungen (Verfahren 1) für nicht mehr notwendig, weil die Verfahren 2 und 3 genügend zuverlässig schienen

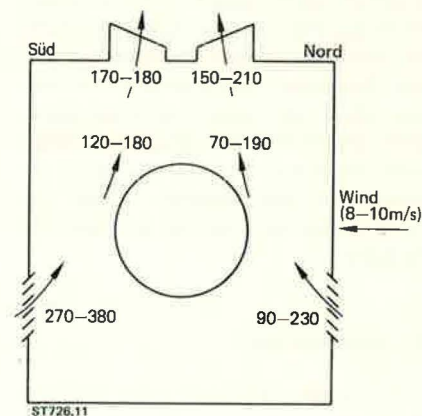


Bild 11: Fluoridkonzentrationsverteilung (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in einem Querschnitt in der Mitte der Brennerei bei Nordwind

und viel weniger Arbeit erforderten. Tabelle 1 zeigt nämlich eine gute Übereinstimmung zwischen den Verfahren 1, 2 und 3, und auch Tabelle 2 zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den Verfahren 2 und 3. Die Zuverlässigkeit des Meßverfahrens der Druckunterschiede und die Benutzung des Rechenmodells sind sehr wichtig, weil jetzt auch die Augenblickswerte der Massenströme und Luftwechselzahlen aus den Augenblickswerten der Druckunterschiede respektive der Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen bestimmt werden können. Verfahren 4, das nur mit einem Druckunterschied infolge eines Temperaturunterschieds innen-außen (durchschnittlich etwa 7,5 K) rechnet, erbringt am 6. November 1975 etwas niedrigere Luftwechselzahlen als die übrigen Verfahren, am 28. Januar aber dieselben. Am 6. November war die Windgeschwindigkeit 8 bis 10 m/s und am 28. Januar 3 bis 6 m/s. Dies könnte darauf hinweisen, daß der Einfluß des Windes auf die Luftwechselzahl dieser Fabrikhalle bei niedrigeren Geschwindigkeiten als etwa 7 m/s praktisch vernachlässigbar ist. Die Windrichtung hat aber auch einigen Einfluß hierauf [4]. Für den

In diesem kurzen Beitrag berichten wir über ein relativ einfaches Laborverfahren, das zur Herstellung von Feinstäuben für biologische Untersuchungen (z. B. für intratracheale Instillation usw.) benutzt werden kann.

## Das Verfahren

Bei der Herstellung der Feinstaubfraktion aus grobdispersen Pulvermaterialien könnten im Prinzip verschiedene Methoden angewendet werden, z. B. solche, die in der Pulvertechnologie (verschiedene Sichtungungsverfahren) oder in der Kolloidchemie (Sedimentation von Staubsuspensionen) usw. Anwendung finden. Einerseits ist es schwierig, diese Methoden so einzustellen, daß die hergestellte Fraktion der Feinstaubdefinition gut entspricht, andererseits könnte das Verfahren selbst die Staubeigenschaften abändern (z. B. durch Behandlung in Flüssigkeiten). Aus diesem Grund versuchten wir, für bei biologisch wirkenden Stäuben die gleiche Methode anzuwenden, die sich für die Staubmeßzwecke gut bewährt hatte.

Die getrockneten, grobdispersen Pulvermaterialien wurden mit Hilfe des schon früher beschriebenen Schwingbett-Aerosolgenerators [4; 5] zerstäubt (Bild 1). Diese Zerstäubungsmethode hat zwei wesentliche Vorteile: 1) die ursprüngliche Staubform und Staubeigenschaften werden durch dieses Verfahren nicht geändert und 2) die Teilchengrößenverteilung der aerodispersen Fraktion kann in bestimmten Grenzen durch die physikalischen Eigenschaften des Schwingbettes vorgeählt werden [4]. Da die Teilchengrößenverteilung des aus dem Generator austretenden Staubes der Feinstaubdefinition noch nicht entspricht (sie entspricht mehr der Definition des Gesamtstaubes [1] am Arbeitsplatz), ist es notwendig, mit Hilfe eines Vorabscheiders diese Teilchengrößenverteilung an die Verteilung des definierten Feinstaubes anzugleichen.

Da die Feinstaubbestimmung auf dem aerodynamischen Teilchendurchmesser basiert, eignen sich für solche Fraktionierungen besonders gut die Massenkraftabscheider wie Sedimentations-, Zentrifugal- und Trägheitsabscheider. Für Meßzwecke werden in der Bundesrepublik z. Z. verschiedene Feinstaubmeßgeräte benutzt [6 bis 8], die im Prinzip alle für die Laborherstellung von Feinstäuben für biologische Untersuchungen brauchbar wären, vom praktischen Standpunkt (Dauerbetrieb, Reinigung usw.) jedoch hat sich besonders der Elutriator des Gerätes MPG II gut bewährt. Er wurde im *Silikose-Forschungsinstitut* in Bochum [6] entwickelt und wird von der Fa. G.

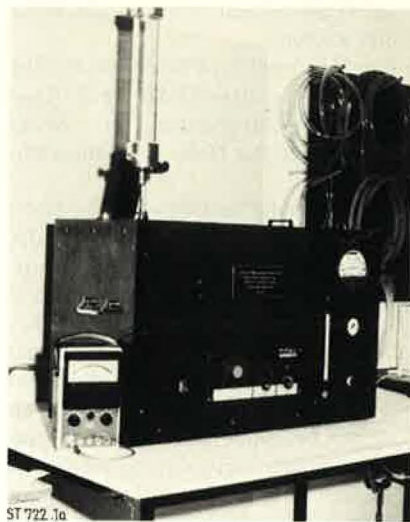
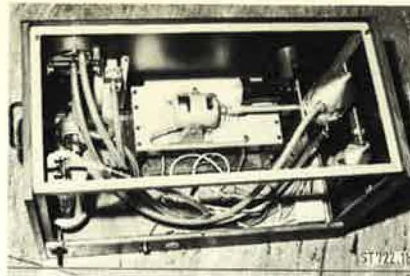


Bild 1: Gesamtaufnahme des Schwingbett-Aerosolgenerators (a) zur Zerstäubung pulverförmiger Materialien [5] und Innenansicht (b) (Das Gerät wird auch von der Firma G. Wazav, Berlin, kommerziell hergestellt.)

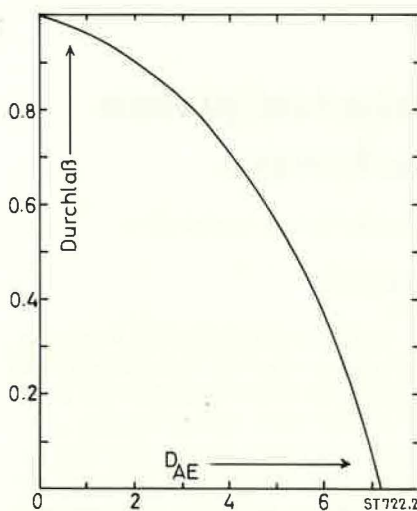


Bild 2: Feinstaubdefinition nach der Johannesburger Trennfunktion [1]

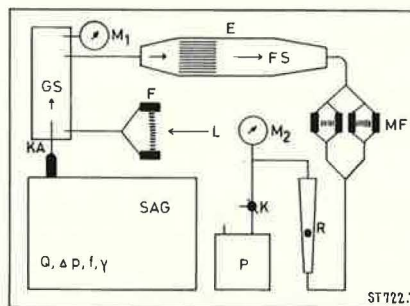


Bild 3: Schematische Darstellung der Herstellungsstrecke für Feinstäube (Beschreibung im Text)

Wazau, Berlin, kommerziell hergestellt. Es handelt sich dabei um einen Plattenelutriator. Die Strömungsgeschwindigkeit zwischen den Platten wurde so festgelegt, daß sich bei gegebenem Plattenabstand und Plattenlänge theoretisch die Trennfunktion entsprechend der Johannesburger Abscheidekurve (Bild 2) ergeben muß. Die Durchsatzmenge beträgt hierbei 46,5 l/min. Wie bei den Staubmessungen wird die Feinstaubfraktion auch bei der Feinstaubpräparation hinter dem Elutriator auf einem Membranfilter (Durchmesser 120 cm und Porengröße 8  $\mu$ m) abgeschieden. Der gesammelte Feinstaub kann leicht mechanisch von der Filteroberfläche abgenommen werden.

Bild 3 zeigt eine schematische Darstellung unserer Herstellungsstrecke. In dem Generator SAG wird das grobdisperse Pulvermaterial zerstäubt. Die Teilchengrößenverteilung des Schwebstaubes, der aus dem Generator austritt, ist vom Luftdurchsatz  $Q$ , dem Druckabfall des Fließbettes  $\Delta p$ , von der Schwingfrequenz  $f$  und Schwingamplitude  $y$  abhängig. Sie kann mit Hilfe dieser Parameter eingestellt werden [4]. In einem Glaszylinder GS (mit Manometer  $M_1$ ) wird die aus dem Generator austretende Staubmenge (KA) mit reiner Luft L verdünnt (Filter F). Im Elutriator E wird dann die Grobfraction abgeschieden und die Feinstaubfraktion FS auf den Membranfiltern MF gesammelt. Mit Hilfe der Vakuumpumpe P (Hahn K, Durchflußmesser R und Manometer  $M_2$ ) wird das ganze geschlossene Kreislaufverfahren betrieben.

## Meßergebnisse und Diskussion

Das mit Hilfe dieses Verfahrens auch komplizierte Staubmischungen behandelt werden können, zeigen die Ergebnisse, die mit der Herstellung von Feinstaubfraktionen aus Asbestzement-Staub erzielt wurden. Grobdisperser Asbestzement-Staub (Zement + Chrysotilfasern) aus den Betrieben der Asbestzement-Industrie wurde als Ausgangsmaterial (nach einer Mikrosiebbearbeitung) benutzt um Feinstaubproben für biologische Untersuchungen herzustellen.

Mit Hilfe eines Streulichtmeßgerätes (Royco-Partikelzähler) und mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie wurde die Stabilität der Teilchengrößenverteilung hinter dem Elutriator kontrolliert. Bild 4 zeigt ein Beispiel solcher Messungen bei zwei verschiedenen Asbestzement-Proben (2 und 708). Innerhalb durch Meßfehler bedingter Grenzen arbeitete die Vorabscheidung gut reproduzierbar ( $d_0$  ist der „optische“ Teilchendurchmes-

Zusammenhang zwischen der Luftwechselfrequenz und dem Druckunterschied innen–außen konnte aus den Ventilationsmessungen schließlich die folgende Regressionsgleichung gefunden werden:

$$v = 1,6 \sqrt{\Delta p + 18} \text{ (h}^{-1}\text{)} (\Delta p \text{ in Pa).} \quad (1)$$

Hierin ist  $\Delta p$  die Summe des thermischen Druckunterschiedes und des Druckunterschiedes infolge des Windes. Bei einem Temperaturunterschied von 7,5 K findet man für den thermischen Druckunterschied etwa 7 Pa.

Gleichung (1) ist nur gültig für Windgeschwindigkeiten niedriger als etwa 10 m/s ( $7 < \Delta p < 65$ ).

## 6 Folgerungen

1. Der Lufttransport durch die Dachjalousien nach außen wird kaum durch den Wind beeinflusst, sondern hauptsächlich durch die Wärmeabgabe der Brennmaschine bestimmt. Dadurch steigt die Luft über die Brennmaschine nach oben und tritt durch die Dachjalousien aus. Der Luftstrom zur Brenn-

maschine wird stark durch den Wind beeinflusst.

2. Es gibt einen klaren Zusammenhang zwischen dem Luftströmungsmuster einerseits und den Verteilungen der Temperaturunterschiede mit der Außenluft und den Fluoridkonzentrationen andererseits. Nur bei den Staubkonzentrationen ist dieser Zusammenhang nicht klar, weil die Staubteilchen an verschiedenen Orten in der Halle frei werden.
3. Der Windeinfluss ist besonders bei den Temperaturunterschieds- und Konzentrationsverteilungen in einem Querschnitt der Halle gut wahrnehmbar.
4. Man kann die Ventilation in der Halle ziemlich genau durch Messung der Luftgeschwindigkeiten in den Jalousien oder der Druckunterschiede über den Jalousien und mit Hilfe eines Rechenmodells bestimmen. Da die letzten Verfahren im Vergleich mit dem ersten Verfahren eine wichtige Ersparnis an Arbeit bedeuten, kann man hier von einer großen Verbesserung, verglichen mit den vorigen Untersuchungen, sprechen.
5. Die Untersuchung hat genügend Vergleichsmaterial für die Untersuchung

mit einem maßstabgetreuen Modell dieser Fabrikhalle erbracht.

## 7 Danksagung

Der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl möchten wir für ihre Subvention danken, durch die diese Untersuchung möglich gemacht wurde. Auch sind wir den Herren Loos, Lastdrager und von Giersbergen, Hoogovens, IJmuiden B.V. erkenntlich für ihre Mitarbeit. Letztlich gilt unser Dank der Betriebsleitung der Pelletfabrik für ihre Zustimmung zu diesen Messungen. [ST 726]

## Schrifttum

- [1] van Beukering, F. C., P. Boekesteijn und R. D. Crommelin: Die Ausbreitung von Luftverunreinigungen in einer Werkhalle durch Konvektionsströmungen. Staub-Reinhalt. Luft 33 (1973) Nr. 4, S. 192/196.
- [2] van Latenstein, A.: De pelletfabriek. De Ingenieur (1970) Nr. 14, S. A 248/A 262.
- [3] Huygen, C.: De bepaling van fluoride met de „Orion“-elektrode. IG-TNO, werkrapport G 349, September (1968).
- [4] van Beukering, F. C., P. Boekesteijn und W. F. de Gids: Metingen in de branderij van de pelletfabriek van Hoogovens IJmuiden B.V. inzake fluctuaties in luchtsnelheden, temperaturen en concentraties van stof en fluoriden. IG-TNO, rapport C 356, Oktober (1975).

# Zur Herstellung von Feinstaubproben für biologische Untersuchungen

Von Kvetoslav Spurny, Gerhard Weiss und Helmut Opiela, Grafschaft\*)

## Zusammenfassung

Eine Labormethode zur Herstellung von definierten Feinstäuben, die für biologische Untersuchungen gut geeignet sind, wird hier beschrieben. Mit Hilfe eines Schwingbett-Aerosolgenerators wird die grobdisperse pulverförmige Substanz zerstäubt. Ein Sedimentationselutriator dient zur Vorabscheidung der nichtlungengängigen Staubfraktion, während der lungengängige Staub hinter dem Elutriator mit einem Membranfilter gesammelt wird. Die während acht Stunden hergestellten Feinstaubmengen liegen im Bereich von 50 bis 200 mg.

In der Bundesrepublik Deutschland gilt für Arbeitsplatzmessungen zur Zeit folgende Definition des Feinstaubes [1]: der Feinstaub wird durch ein Teilchen-

## Summary

A laboratory method for the preparation of respirable dust fractions for biological experiments is here described. By means of a vibrating-bed aerosol generator coarse dispersed powders are pulverized and the non-respirable fraction is separated by means of an elutriator. This respirable powder fractions are then sampled on a membrane filter. As much as 50 to 200 mg of this fine fractions can be produced in eight hours.

Schlagwörter: Biologische Untersuchungen / Feinstaub-Herstellung / Generator SAG / Johannesburger Konvention / Vorabscheider / Staubgenerator SAG

kollektiv repräsentiert, das einen bestimmten Sedimentationsabscheider passiert. Die Trennfunktion (Durchlaßkurve) dieses Abscheiders hat einen solchen Verlauf, daß der 50%-Wert des Durchlaßgrades bei 5 µm (aerodynamischer Teilchen-

## Résumé

Une méthode laboratoire de la préparation des poussières respirables pour les expériences biologiques est décrite ici. Les poudres gros dispersés sont pulvérisées au moyen d'un générateur d'aérosols à lit fluidisé vibrant. La fraction non-respirable est préparée par un séparateur en sédimentation. Puis la fraction respirable est prélevée par un filtre. Des quantités de 50 à 200 mg de la fraction des poudres respirables pouvaient être préparées par huit heures.

durchmesser) liegt. Auch die MAK-Werte beruhen auf dieser Feinstaubdefinition.

Bei der Untersuchung biologischer Wirkungen verschiedener Staubarten [2; 3] sollten die benutzten Staubproben ebenfalls dieser Definition entsprechen.

\*) Anschrift der Verfasser: s. Autorenverzeichnis