

Staubmesstechnik – damals bis heute

C. Möhlmann

Zusammenfassung Das Vorkommen von Staub in der menschlichen Umgebung und die schädlichen Gesundheitswirkungen sind seit ein paar hundert Jahren bekannt. Das Feststellen und Analysieren von Staubmengen wird seit dem 19. Jahrhundert wissenschaftlich betrieben. Gerade im Bergbau waren die Auswirkungen auf die Gesundheit der Arbeiter am deutlichsten, so dass hier die ersten Messverfahren für luftgetragenen Staub eingeführt wurden. Dazu zählen Staub sammelnde Methoden mit Filtermedien, direkt anzeigende Methoden mittels optischer und elektrischer Nachweisprozesse sowie eine Reihe mikroskopischer Verfahren. Seit ca. vier Jahrzehnten liegen Richtlinien vor, nach denen Staubmessgeräte Partikeln bestimmter Größenklassen, die sich aus der Einatembarkeit der Partikeln ergeben, erfassen sollen. In der heutigen Zeit steht eine Reihe von Messgeräten zur Verfügung, mit denen sich Expositionen gegenüber luftgetragenen Stäuben bestimmen lassen.

Dust measurement equipment – yesterday and today

Abstract The presence of dust in the human environment and its harmful health effects have been known for a couple of hundred years now. Scientific measurements and analyses of dust quantities have been conducted since the 19th century. The effect of dust on the health of mine workers was always the most clearly observed, and the first measurement procedures for airborne dust were introduced here. These included dust collection methods using filtering systems, direct reading methods using optical and electric proofs and a series of microscopic procedures. Guidelines for dust measuring instruments that were meant to detect particles of certain size classes derived from their inhalation behaviour have been in place for around four decades now. Today, a number of measuring devices are available that can help to determine exposure to airborne dusts.

1 Einleitung

Die Überprüfung der Staubbelastung in der Luft am Arbeitsplatz erfordert genaue Mess- und Analysenverfahren, die sich am eingeatmeten Anteil des Staubs in der Luft orientieren müssen. Seit ca. drei Jahrhunderten werden Gesundheitsschädigungen durch luftgetragene Stäube diskutiert, seit dem 19. Jahrhundert kamen geeignete Messmethoden zum Einsatz, die heute einer Reihe von Bedingungen genügen müssen.

2 Frühe Entwicklungen

Bis in die heutige Zeit lässt sich eine jahrhundertelange Entwicklung nachvollziehen, in deren Verlauf schädliche Stoffe in der Luft erkannt wurden und sie messbar wurden. Schon im 16. Jahrhundert vertrat in unserem Kulturkreis *Paracelsus* die These, dass viele Stoffe schädlich wirken, sobald sie eine bestimmte Dosis überschreiten: „*Was ist das nicht giftig ist? Alle ding sind giftig, und nichts ohn giftig. Allein die dosis macht, dass ein ding kein giftig ist*“ [1]. Das Auftreten städtischer Luftverschmutzung wurde schon 1661 in London von *John Evelyn* an König *Charles II.* berichtet. In der Schrift

„*Fumifugium*“ beschreibt er die starke Belästigung durch Rauchschwaden bei *White Hall*: „*Smoake issuing from one or two Tunnels neer Northumberland-house, and not far from Scotland-yard, did so invade the Court; that all the Rooms, Galleries, and Places about it were filled and infested with it; and that to such a degree, as Men could hardly discern one another for the Cloud, and none could support without manifest Inconveniency.*“ [2].

Um 1700 wurde von *Ramazzini* beschrieben, dass die Schwere des Bäckerasthmas wohl von der Menge des eingeatmeten Staubs abhängt [3]. Die entscheidenden Fortschritte in der Staubmesstechnik wurden im 19. Jahrhundert gemacht [4]. Um 1870 sammelte *Tissandier* mit 2 m² großen, auf dem Boden ausgebreiteten Papierbögen sich ablagern den Staub aus der Luft und untersuchte ihn mikroskopisch auf die Größe, Form und Zahl der Teilchen [5]. 1875 gelang *P. J. Coulier* der Nachweis von Kondensationskernen. Dieses Prinzip wurde 1879 von *John Aitken* im ersten Kondensationskernzähler eingesetzt, um Umweltaerosole zu bestimmen. Im Jahr 1871 konnte von *John Tyndall* auch die Lichtstreuung an Luftteilchen als Nachweis und Quantifizierung der Londoner Luftverschmutzung eingesetzt werden. Ein sammelndes Messverfahren stellte *Miquel* 1878 vor: Das „Aeroskop“ [6] saugte über einen Trichter, der sich zu einer kleinen Öffnung verjüngte, die Luft an. Hinter der Öffnung befand sich in kurzer Distanz ein mit Glycerin und Glucose bestrichenes Glasplättchen, das die größeren Staubteilchen anhaften ließ. Die feinen Partikeln folgten der Luftströmung um die Glasplatte und wurden nicht erfasst. Nach der Probenahme wurde der Staubfilm gleichmäßig verrieben und mikroskopisch ausgewertet. Dieses Prinzip der Impaktion wurde von *Robert Kotzé* 1919 weiterentwickelt, so dass mit dem so genannten Konimeter bei höherer Luftströmung auch feinere Teilchen gemessen werden konnten [7]. In den folgenden Jahrzehnten wurde dieses Prinzip vielfach in modifizierten Formen eingesetzt, in Großbritannien als *Owens Jet Dust Counter* [8] und *Bausch und Lomb Counter* [9], in Deutschland als *Konimeter HS* [10] bis in die 1970er Jahre (Bild 1).

3 Entwicklung im 20. Jahrhundert

Neben der reinen Beobachtung von Staub ist es ebenso wünschenswert, die Inhaltsstoffe bestimmen zu können. Hierzu werden filternde Verfahren benötigt, ein grundlegender Ansatz wurde in Südafrika um 1900 verfolgt. Dabei wurden an Grubenarbeitsplätzen mit Zucker gefüllte Röhrchen eingesetzt, durch die staubhaltige Luft gesaugt wurde [11]. Nach dem Auflösen der Füllung konnte der nicht lösliche Staub analysiert und eine Massenkonzentration in mg/m³ angegeben werden. Die Bedeutung von Arbeitsplatzmessungen erhöhte sich, als in den Zwanzigerjahren des 20. Jahrhunderts klar wurde, dass Quarzstaub die häufigen Lungenerkrankungen der Bergleute, wie Pneumokoniose und Silikose, hervorruft [12]. Ergänzende Messverfahren dieser Zeit waren insbesondere der Thermalpräzipitator und der Impinger [13]. Beim Thermalpräzipitator wird ein Temperaturgefälle zur Abscheidung von Partikeln genutzt. Die Luft strömt an

Dipl.-Phys. Carsten Möhlmann,

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA,
Sankt Augustin.

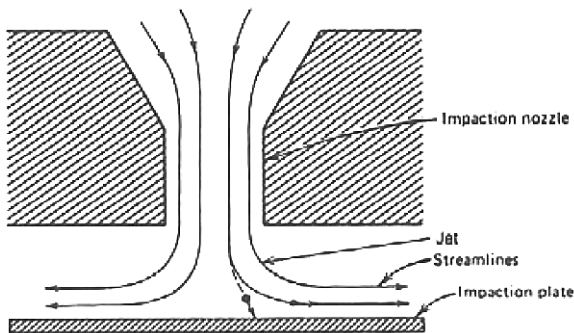


Bild 1. Konimeter, ab 1950. Impaktion der Partikeln auf Glasplatte, Auswertung über ein eingebautes Mikroskop.
 impaction nozzle = Düse, jet streamliner = Stromlinien, impaction plate = Glasplatte

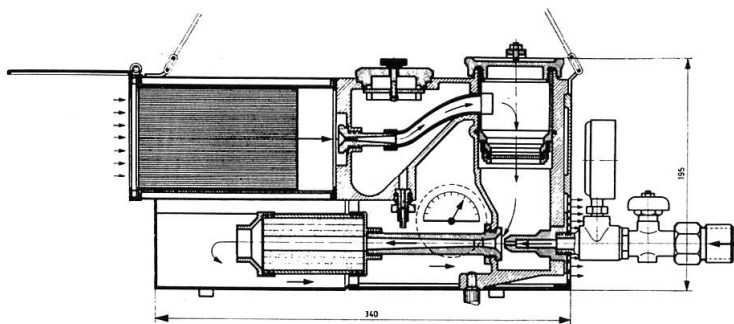


Bild 2. Horizontalelutriator im MPG.

einem heißen Draht vorbei, der in der Mitte eines Spalts – durch zwei nahe beieinander liegende Glasplatten gebildet – geführt wird. Durch die Erhitzung am Draht wirkt eine zusätzliche Kraft auf die Partikeln, die so genannte thermophoretische Kraft. Sie bewirkt ein graduelles Abscheiden der Partikeln auf den Glasplatten. Die Staubabscheidungen werden mikroskopisch ausgewertet. Aufgrund der Untersuchungen von *Green* und *Watson* 1935 [14] konnte ein erstes einsatzfähiges Messgerät gebaut werden, das in der Folgezeit häufig im britischen Bergbau Verwendung fand.

Der Impinger beinhaltet eine Kombination aus zwei Prozessen: zum einen die Impaktion von Partikeln auf einer Fläche, zum anderen ergänzend die Verwirbelung und das Sammeln der Partikeln in einer Flüssigkeit. Die Abscheideeffizienz ist für Partikeln < 1 µm schlecht, da diese feinen Teilchen mit den Luftblasen wieder heraus transportiert werden. Besondere Verbreitung fand der Midget-Impinger [15].

In den 1950er Jahren wurden vermehrt Planfilter aus Glasfasern oder Celluloseesternmembranen zur Staubsammlung eingesetzt. Mit diesen Filtern war eine Wägung der Staubmassen, eine Zählung der Partikeln auf dem Filter (nachdem Öl oder organische Lösungsmittel auf die Membran gegeben wurden, um sie transparent zu machen) und eine weitergehende chemische Analyse des Staubs auf Inhaltsstoffe möglich. Diese Filter wurden z. B. in stationären Probenahmegegeräten eingesetzt, die einen definierten Ansaugspalt aufwiesen und mit Volumenströmen von 10 bis 25 m³/h mittels einer eingebauten Pumpe betrieben wurden. Wesentliche Entwicklungen sowohl für die Probenahme als auch für die Analytik wurden im Staubforschungsinstitut – STF, dem Vorläufer des heutigen Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA, Ende der 1950er Jahre und in den folgenden 1960er Jahren von *Kühnen* [16], *Walter* [17] sowie *Winkel* und *Coenen* [18] geleistet. Eine Berücksichtigung des Wirkbereiches von Staub im Atemtrakt fand erstmals auf der Pneumokoniose-Konferenz 1959 in Johannesburg statt [19]. Der Begriff „Feinstaub“ wurde mit einer Erfassungskurve hinterlegt, die Partikeln bis zu 5 µm umfasst. Diese gelangen bis in die Lungenbläschen. Die Abtrennung des Feinstaubes sollte dabei schon im Probenahmekopf vor dem Filter vorgenommen werden. Diese Empfehlung wurde von einem so genannten Horizontalelutriator erfüllt, der im Probenahmegegerät MRE (Fa. Casella, London) aus einem horizontal ausgerichteten Plattenpaket besteht, in dem die groben Partikeln aussedimentieren. Die feine Staubfraktion wird auf einem nachgeschalteten Filter abgeschieden (Bild 2). Nach dem gleichen Prinzip wurde im ehemaligen Bochumer Silikose-Forschungsinstitut (SFI) das MPG II entwickelt [20]. Diese Geräte wurden lange Zeit als Standardverfahren für die Feinstaubmessung eingesetzt.

Seit 1955 werden von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen, so genannte MAK-Werte, herausgegeben, die auch den Feinstaub umfassten. Seit 1973 sind der einatembare Gesamtstaub und der alveolengängige Feinstaub in der MAK-Liste geführt. Um eine messtechnische Umsetzung zu gewährleisten, wurden weitere Probenahmegegeräte entwickelt. Für den ortsfesten Einsatz eignet sich das von *Coenen* und Mitarbeitern entwickelte Gravikon VC 25, das in der Variante G für die Messung des einatembaren Staubs und in den Varianten F und I für die Messung des alveolengängigen Staubs einsetzbar ist [21; 22]. Das Grundgerät wird mit unterschiedlichen Ansaugköpfen bei einem Volumenstrom von 22,5 m³/h betrieben und der Staub in einer Filterkassette gesammelt (Bild 3). Durch den hohen Volumenstrom ergeben sich niedrige Nachweisgrenzen. Die Auswertung der Filter geschieht durch Wägung oder durch Betastrahlenabsorption.

In den letzten beiden Jahrzehnten kam als Entwicklung des BGIA das Gravikon PM 4 in den Varianten G und F für den mobilen Messeinsatz hinzu. Der einatembare Staub wird wie beim VC 25 G über einen horizontalen Ringspalt erfasst, der



Bild 3. Beispiele für Probenmesysteme vom Typ Gravikon VC 25 in den Varianten F, G und I.

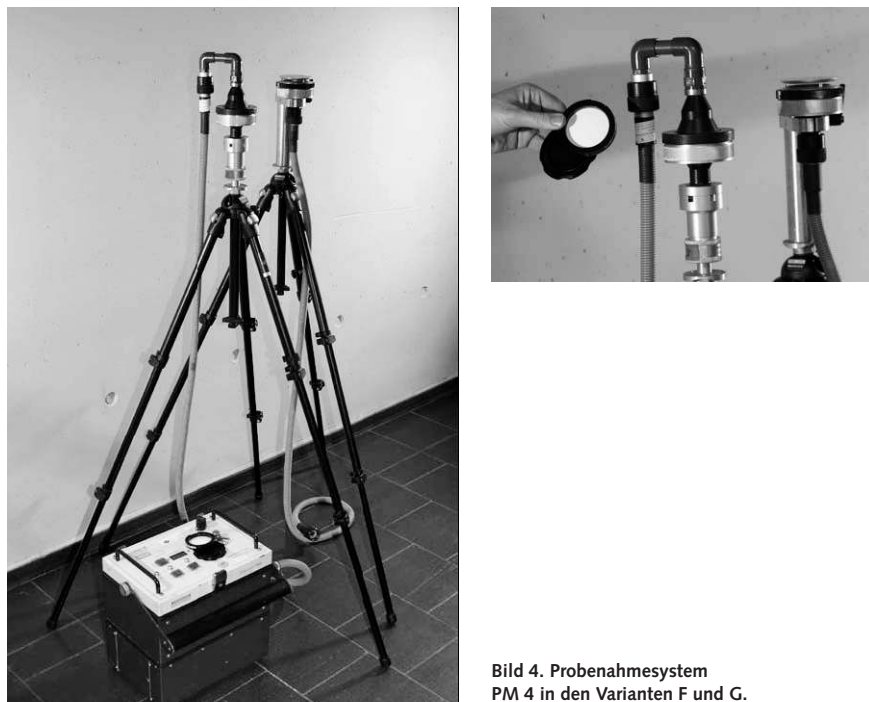


Bild 4. Probenmesystem PM 4 in den Varianten F und G.



Bild 5. Beispiel eines Probenmesystems für die personengetragene Probenahme.

alveolengängige Staub über einen Zyklon. Beide Varianten arbeiten mit einem Volumenstrom von 4 m³/h, der von einer mobilen Pumpeneinheit vorgehalten wird, und nutzen leicht tauschbare Filterkassetten (Bild 4).

Neben der ortsfesten Messung lässt sich die Exposition gegenüber Gefahrstoffen auch direkt personenbezogen messen. Hier steht mittlerweile eine ganze Reihe von Probenahmeköpfen und Pumpen im sog. Personengetragenen Gefahrstoff-Probenmesystem – PGP zur Verfügung, um Stäube, Gase und Fasern zu messen. Aufgrund der geringen Gerätegröße sind sie gut an der Person zu tragen und werden je nach Aufgabe mit Volumenströmen zwischen wenigen 10 l/h bis zu 10 l/min betrieben (Bild 5). Die zugehörigen Filterkassetten oder Probeneträger sind leicht zu handhaben und für den Versand geeignet.

Seit dem Erscheinen der europäischen Norm DIN EN 481 „Arbeitsplatzatmosphäre: Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikeln“ im Jahr 1993 [25] soll sich die Erfassungscharakteristik von Staubprobennehmeräten an den drei Staubfraktionen einatembar, thorakal und alveolengängig orientieren, von denen die Definitionen Gesamt- und Feinstaub abgelöst wurden.

Genauere Beschreibungen der im Berufsgenossenschaftlichen Messsystem Gefahrstoffe (BGMG) eingesetzten Staubprobennehmeräte finden sich in der BGIA-Arbeitsmappe [24]. Im internationalen Bereich bieten der CEN Sampling Guide [25] und das ACGIH-Handbuch [26] einen guten Überblick über die vielfältigen Messmethoden und -strategien zur Ermittlung der Exposition an Arbeitsplätzen.

4 Ausblick

Neben den sammelnden Verfahren existieren mittlerweile auch Probennehmerverfahren, die Staubkonzentrationen direkt anzeigen und außerdem den zeitlichen Verlauf wiedergeben können, so dass eine bessere Kontrolle der Arbeitsvorgänge möglich wird. Das Interesse der Arbeitshygiene ist seit kurzem auf sehr feine Partikeln, die ultrafeinen Aerosole, gerichtet, von denen eine andere Wirkung als von Feinstaub auszugehen scheint, die sich an ihrer Anzahl und Oberfläche bemisst. Dies wird in Zukunft auch eine Anpassung der Messtechnik mit sich bringen.

Literatur

- [1] Theoprastus Bombastus von Hohenheim, genannt Paracelsus: Epistola deditora St. Veit/Kärnten: Sieben Defensionen oder sieben Schutz-, Schirm- und Trutzreden. Dritte Defension, 1538.
- [2] *Lodge, J. P.*: The Smoke of London. New York: Maxwell Reprint 1969.
- [3] *Ramazzini, B.*: Abhandlung von den Krankheiten der Künstler und Handwerker: „De morbis artificum diatriba“. Neu bearbeitet und vermehret von J. C. G. *Ackermann*. S. 124-135. Stendal: 1780.
- [4] *Kühnen, G.; Pfeiffer, W.; Rudolf, E.*: Entwicklung der Staubmesstechnik am Arbeitsplatz. Staub – Reinhalt. Luft 46 (1986) Nr. 4, S. 177-181.
- [5] *Tissandier, G.*: Les poussières atmosphériques. C. R. Acad. Sci. Paris 78 (1874), S. 821-824.
- [6] *Miquel, P.*: Des poussières organisées tenues en suspension dans l'atmosphère. C. R. Acad. Sci. Paris 86 (1878), S. 1552-1557.
- [7] *Kotzé, R. N.*: Final Report of the Miners Phthisis Prevention Committee. Union of South Africa, Pretoria 1919.
- [8] *Owens, J. S.*: Proc. Royal Soc. London 101 (1992), S. 18-25.
- [9] *Gurney, S. W.; Williams, C. R.; Meigs, R. R.*: Investigation of the characteristics of the Bausch & Lomb dust counter. J. Indust. Hyg. Toxicol. 20 (1938), S. 24-35.
- [10] *Hasenclever, D.*: Bestimmung des Feinstaubgehaltes in der Luft. Eine Übersicht über Messgeräte und Messverfahren. Chem.-Ing.-Techn. 26 (1954), S. 180-187.
- [11] *Walkenhorst, W.*: Physikalische Eigenschaften von Stäuben sowie Grundlagen der Staubmessungen und Staubbekämpfung. In: *Ulmer, W. T.; Reichel, G.* (Hrsg.): Handbuch der inneren Medizin, Bd. IV/1, Pneumokoniosen. Springer: Berlin 1976.
- [12] *Collis, E. L.*: Tuberculosis – Silicosis: Occupation and Health. Brochure 32. Hrsg.: International Labour Office, Genf 1926.
- [13] *Spurny, K. R.*: Analytical Chemistry of Aerosols. S. 6-10. Boca Raton: Lewis 1999.
- [14] *Green, H. L.; Watson, H. H.*: Physical methods for estimation of the dust hazard in industry. Med. Res. Council Spec. Rept. Ser. No. 199, 1935.
- [15] *Hatch, T. et al.*: Modified form of the Greenburgh-Smith Impinger for field use, with a study of its operating characteristics. J. Industr. Hyg. 14 (1932), S. 301-311.
- [16] *Kühnen, G.*: Bestimmung von Blei in der Luft. Staub 20 (1960) Nr. 3, S. 77-81.
- [17] *Walter, E.*: Gravimetrisches Staubmessgerät mit hohem Luftdurchsatz. Staub 22 (1962) Nr. 3, S. 117-118.
- [18] *Winkel, A.; Coenen, W.*: Ein neues tragbares Staubmessgerät mit großer Luftleistung. Staub – Reinhalt. Luft 26 (1966) Nr. 1, S. 9-11.
- [19] *Orenstein, A. J.* (Hrsg.): Proceedings of the Pneumoconiosis Conference, Johannesburg 1959. London: Churchill 1960.
- [20] *Bauer, H.-D.; Bruckmann, E.*: Neues gravimetrisches Staubsammelgerät zur Messung des atembaren Feinstaubes nach den MAK-Werten. Kompaß 84 (1974), S. 96-102.
- [21] *Coenen, W.*: Feinstaubmessung mit dem VC 25. Neuere Untersuchungen und praktische Erfahrungen. Staub – Reinhalt. Luft 35 (1975) Nr. 12, S. 452-458.
- [22] *Coenen, W.*: Beschreibung der Erfassungs- und Durchgangsfunktion von Partikeln bei der Atmung – messtechnische Realisierung. Staub – Reinhalt. Luft 41 (1981) Nr. 12, S. 472-479.
- [23] DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre: Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikeln. Berlin: Beuth 1993.
- [24] BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen (Kennzahl 3005 bis 3200). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Berlin: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg.
- [25] prCEN/TR 15230:2005:E: Workplace Atmospheres – Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions. Entwurf April 2005.
- [26] *Cohen, B. S.; Hering, S. V.* (Hrsg.): Air Sampling Instruments. 9. Aufl. 2001. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Cincinnati, Ohio. www.acgih.org.