

## Retentionsanalyse an Aerosolen und Stäuben mit einem Atemtraktmodell in der Umgebung von Industriebetrieben\*)

von

R. Reiter und K. Pötzl

(Aus der Physikalisch-Bioklimatischen Forschungsstelle Garmisch-Partenkirchen der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung)

Im Auftrage des Bundesamtes für zivilen Bevölkerungsschutz befindet sich an unserem Institut ein „Atemtraktmodell“ in Entwicklung, mit welchem die Retention von Aerosolpartikeln oder von Stäuben im Atemtrakt des Menschen festgestellt werden kann. Nachdem dieses Gerät seine erste Entwicklungsstufe erreicht hat, war es erforderlich, es praktisch zu erproben. Es lag nahe, solche Untersuchungen in der näheren und weiteren Umgebung von Industriegebieten vorzunehmen, wobei uns aus verschiedenen Gründen der Raum Oberpfalz zweckmäßig erschien. Diese Arbeiten hatten also lediglich den Zweck, unsere Geräte im feldmäßigen Einsatz (mit Strom durch ein tragbares Aggregat versorgt) von physikalisch-technischen Gesichtspunkten aus zu testen, nicht aber Luftreinheitsuntersuchungen im eigentlichen Sinne vorzunehmen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihe erscheinen uns jedoch in vielfacher Hinsicht, vor allem auch im Hinblick auf die praktischen Verwendungsmöglichkeiten des Atemtraktmodells, wert, sie im folgenden auszugsweise mitzuteilen und dabei auch das Arbeitsprinzip des Gerätes kurz zu erläutern.

Die Gefährlichkeit eines Aerosols oder von Stäuben für den Menschen hängt nicht allein von der Konzentration des betreffenden Stoffes in der Luft und von seiner spezifischen Toxizität ab, sondern auch davon, ob überhaupt, bzw. in welchem Ausmaß die Staub- und Aerosolpartikel in den verschiedenen Teilen des Atemtraktes retiniert werden. Die Retention ist — abgesehen vom Einfluß der Atmungsfunktion (Atemtiefe, -Frequenz u. a.) — in erster Linie von der gegebenen Partikelgröße abhängig. Auf Grund älterer<sup>1)</sup> und neuerer<sup>2)</sup> Untersuchungen kennt man zwar diese Abhängigkeit der Retentionsfähigkeit einzelner Abschnitte des Atemtraktes vom Partikeldurchmesser. Wollte man aber im akuten Falle an einem gegebenen Aerosol feststellen inwieweit seine Partikel in den einzelnen Abschnitten des Atemtraktes retiniert werden, um hieraus Schlüsse auf das *Ausmaß der gegebenen Gefahr* zu ziehen, so müßte man erst das Partikelspektrum etwa zwischen 0,05 und 5  $\mu$  aufnehmen und hieraus die Retention für die Atemtraktabschnitte berechnen. Das ist zwar prinzipiell möglich, aber für die Praxis viel zu umständlich und aufwendig. Insbesondere ist dieser Weg überhaupt nicht gangbar, wenn das Aerosol nicht nur in Bezug auf seine Partikelgrößen, sondern auch im Hinblick auf seine chemische Zusammensetzung heterogen und komplex ist (z. B. Metall- und Mineralstäube gemischt).

---

\*) Bereits vor 10 Jahren begann unser Institut mit Aerosoluntersuchungen in der Oberpfalz und zwar für die Bayerische Braunkohlenindustrie A.G. in Wackersdorf mit dem Ziel, den Pegel der natürlichen Radioaktivität der Luft über den uranhaltigen Braunkohlenlagerstätten zu ermitteln. Siehe R. REITER und H. ZIEHR: Atomkernenergie 4, 409 (1959).

Dieser Gesichtspunkt und vor allem der, daß die heute schon sehr weit verbreitete Anwendung von Staubniederschlagssammlern in der Umgebung von emittierenden Industriebetrieben keinen Aufschluß über die tatsächliche biologische Gefährlichkeit der freigesetzten Stäube und Aerosole für den Menschen gibt<sup>3)</sup>, veranlaßte uns, einen anderen Weg zur Befriedigung der heute so drängenden Bedürfnisse der Praxis zu gehen.

Unser Atemtraktmodell gibt unmittelbar an, welche Mengen analysierbarer chemischer Verbindungen oder physikalisch nachweisbarer (auch radioaktiver) Elemente in 3 Abschnitten des menschlichen Atemtraktes retiniert werden und welcher Anteil wieder expiriert wird. Das Verfahren beruht auf folgendem Prinzip: Für die Retention von Partikeln in Filtermedien sind dieselben physikalischen Gesetzmäßigkeiten maßgebend wie für die Retention in Bronchien, Bronchiolen und Alveolen. Mit fallendem Partikeldurchmesser nimmt, grob gesehen — im Filter wie im Atemtrakt — die Retention zunächst ab, dann wieder zu. Es ist deshalb möglich, Filtertypen auszuwählen, deren Retentionsfunktion sich hinreichend gut an die definierter Abschnitte des Atemtraktes anschmiegt. Die Prüfung wird mit ThB-markierten monodispersen Testaerosolen aus unserer Aerosolgenerator-Anlage zwischen 5 und  $0,08 \mu$  vorgenommen, wobei Flächenbelastung „Atemtyp“ (kontinuierlich, stoßweise) u. a. Größen variiert werden, bis der Einfluß auch dieser Parameter ausreichend bekannt ist und berücksichtigt bzw. mitverwertet werden kann.

In seiner gegenwärtigen Form besteht das Atemtrakt-Retentionsmodell (es befindet sich noch in Weiterentwicklung) aus vier hintereinander geschalteten und gleichzeitig mit mehreren  $m^3$  der Untersuchungsluft zu exponierenden Filterstufen, welche folgende Atemtraktabschnitte repräsentieren:

- I: Trachäa, Hauptbronchien, Bronchien 1. Ordnung
- II: Bronchien 2. und 3. Ordnung, Bronchioli terminalis
- III: Bronchioli respiratorii, Sacculi alveolarii
- IV: Wiederaustritt aus dem Atemtrakt.

Während der Exposition wird die auf den Filtern abgeschiedene elektrostatische Ladung fortwährend registriert, um ggf. deren Einfluß auf den Abscheidemechanismus berücksichtigen zu können. Diese Registrierung ist auch deshalb wichtig, weil heute vielfach der elektrischen Ladung von eingeatmeten Aerosolpartikeln biologische Bedeutung beigemessen wird.

Die einzelnen Filter erlauben folgende quantitative Auswertung nach Ende der Exposition: Gravimetrie, chemische Spurenanalyse<sup>4)</sup>, Messung der Beta-Aktivität, Gamma-spektroskopie, Spektralanalyse. Die Leistungsfähigkeit und Anwendungsbreite der Anordnung soll an einigen wenigen praktischen Beispielen erläutert werden (Tabelle 1).

Die in der Tabelle aufgeführten Ergebnisse von Industrieuntersuchungen liefern einen recht weitgehenden Einblick in eine gewissermaßen 2-dimensionale Retentionsfunktion, nämlich:

- a) in die Abhängigkeit von der Partikelgröße mit der *direkten* Antwort auf die Frage wie stark die Atemtraktabschnitte differenziert befallen werden und
- b) in die gleichzeitige Abhängigkeit von der chemischen Struktur des Aerosols.

So dringt aus dem  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Aerosolgemisch des Stahlwerkes das  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  relativ weit in die Lunge vor, während der größte Teil der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Komponente schon in den oberen Luftwegen retiniert wird. Die Aerosole aus dem Schamottewerk befallen überwiegend den Atemtraktabschnitt II. Eine stärkere Differenzierung finden wir in der

Tabelle 1. Verteilung der Partikel eines heterogenen Aerosols auf die Abschnitte des Atemtraktes 1 — III (s. Text) nach Messungen mit dem Atemtraktsmodell in der Nähe von Industriebetrieben.

Art des Betriebes Abstand		Angebot A in $\gamma/m^3$ eines heterogenen Aerosols und Verteilung auf die Atemtraktschnitte I — III in %			
		SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Eisenhütte mit Konverter 1 km Abstand	A	70 $\gamma/m^3$	160 $\gamma/m^3$	110 $\gamma/m^3$	—
	I	36,1 %	23,5 %	38,1 %	—
	II	41,6 %	41,0 %	37,4 %	—
	III	22,8 %	35,4 %	24,5 %	—
	IV	Expiration $\approx$ O			
Schamottewerk 2 km Abstand	A	76 $\gamma/m^3$	3 $\gamma/m^3$	97 $\gamma/m^3$	—
	I	30,0 %	27,4 %	32,1 %	—
	II	52,9 %	51,9 %	45,6 %	—
	III	17,1 %	20,6 %	22,2 %	—
	IV	Expiration $\approx$ O			
Zementwerk 2 km Abstand	A	19 $\gamma/m^3$	17 $\gamma/m^3$	—	91 $\gamma/m^3$
	I	41,4 %	36,4 %	—	34,6 %
	II	36,2 %	42,2 %	—	55,8 %
	III	22,3 %	21,2 %	—	9,3 %
	IV	Expiration $\approx$ O			

Nähe des Zementwerkes: die SiO<sub>2</sub>-Komponente wird schon stark in den oberen Luftwegen retiniert, die CaO-Komponente dagegen im Atemtraktschnitt II, während der Alveolartrakt (Abschnitt III) durch CaO auffallend schwach in Mitleidenschaft gezogen wird.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Modells sind:

- Ziviler Bevölkerungsschutz;
- Radioaktivitätsüberwachung in Reaktor- und Grubenbetrieben, in Isotopenlabors und bei der Aufbereitung und Verarbeitung von Uran- und Thoriumerzen;
- Überwachung der Luftverunreinigung in Verkehrs- und Industriegebieten und in Betrieben selbst.

Details über das Atemtraktsmodell werden zu gegebener Zeit an anderer Stelle veröffentlicht. Dem Bundesamt für zivilen Bevölkerungsschutz danken wir sehr für die Bereitstellung von Mitteln für die Entwicklungsarbeiten.

#### Anmerkungen:

- 1) *Findeisen, W.*, Arch. Ges. Physiol. 236, 367 (1935).
- 2) *Landahl, H. D.*, Bull. of Math. Biophys. 12, 43 (1950).
- 3) Die tief in den Atemtrakt vordringenden Partikel werden vom Staubniederschlagssammler kaum erfaßt (zu schwache Sedimentation), während die gut sedimentierenden Grobstäube so gut wie nicht in die tieferen Atemwege und den Alveolartrakt eindringen.
- 4) Hierbei wenden wir z. T. neue Verfahren an, welche a. a. Stelle veröffentlicht werden.

