

## BIOLOGISCHE AEROSOLE ALS CARRIER FÜR LUFTSCHADSTOFFE

THOMAS RETTENMOSER, STEPHAN KAGERER, WERNER HOFMANN

### 1 Einleitung

Da schätzungsweise 40% aller Aerosole biogenen Ursprungs sind und sie in bestimmten Größenbereichen wahrscheinlich zahlenmäßig dominieren, sind sie von großer gesundheitlicher Relevanz für die Bevölkerung. Bislang sind die Mechanismen noch sehr wenig erforscht, welche dazu führen können, dass sich kleinere Partikel, vor allem gesundheitlich relevante Schwermetalle, bevorzugt an biologischen Aerosolen anlagern (GLIKSON M. et al.; 1995). Um diese Anlagerung besser verstehen zu können, wurde an Hand mehrerer Messreihen der Zusammenhang zwischen dem prozentualen Anteil der Bioaerosole und drei ausgewählten Parametern in verschiedenen Größenbereichen untersucht: (i) die Aerosolmasse, die durch Wägung bestimmt wurde, (ii) die Aktivitäten der Radon-Zerfallsprodukte, die gammaspektrometrisch gemessen wurden, (iii) und die Konzentration einiger Schwermetalle, welche mit Hilfe von Neutronen-Aktivierungs-Analyse bestimmt wurde.

Dazu war es nicht nur notwendig, Aerosole zu sammeln und deren biologischen Anteil zu bestimmen, sondern auch die Gesamtpartikelanzahl zu ermitteln. Um eine Abschätzung der gesundheitlichen Auswirkungen vornehmen zu können, wurden die einzelnen Parameter in verschiedenen Größenstufen untersucht, da die Größenverteilung eines Schadstoffes wesentlich für seine Deposition in der menschlichen Lunge verantwortlich ist. Da über die Konzentration und charakteristische Zusammensetzung der Aerosole an verschiedenen Orten sehr wenig bekannt war, wurden vier Messorte ausgewählt, welche sich in ihren natürlichen und zivilisationsbedingten Gegebenheiten sehr stark unterscheiden. Der sich aus der Komplexität der Probenahmen ergebende zeitliche Aufwand führte dazu, dass sich in den Messdaten auch die unterschiedliche Belastung der Luft mit Bioaerosolen im Laufe eines Halbjahres widerspiegelt.

## 2.1 Beschreibung der Probenahmeorte

Um eine möglichst große Vielfalt von natürlichen und antropogenen Umweltbedingungen zu erreichen, wurden vier darin sehr verschiedene Orte zur Beprobung ausgewählt. Als Kontrolle wurde zusätzlich ein Messpunkt bestimmt, welcher als Reinluftgebiet angesehen werden kann. Der Gaisberg ist ca. 1360 Meter hoch und erhebt sich am östlichen Rand der Stadt. Dieser Standort wurde als Referenzpunkt für die anderen Standorte ausgewählt, da hier die Luft sehr sauber und rein sein sollte. Von regelmäßigem Verkehrsaufkommen an diesem Platz ist absolut nicht zu sprechen. Auch sind keine anderen Emittenten zu berücksichtigen. Es stellte sich jedoch heraus, dass einzelne Messwerte an und unter der Nachweisgrenze lagen. Aus diesem Grund werden die lückenhaften Messwerte hier nicht näher betrachtet.

Als Messort bei dem eher geringe Partikel- und Bioaerosolkonzentrationen zu erwarten waren, wurde Bad Gastein ausgewählt. Es handelt sich hier um ein ländliches, stark gebirgiges Gebiet inmitten der Hohen Tauern. Aufgrund der Seehöhe von ca. 1000 m ist die Produktion von Bioaerosolen, besonders im Herbst, gegenüber den anderen Messorten eingeschränkt. Das geringe Verkehrsaufkommen, sowie das weitgehende Fehlen von industriellen Anlagen ist für die relativ geringen Partikelkonzentrationen in der Luft verantwortlich. Der Messort selbst befindet sich auf dem Gelände des Forschungsinstituts Gastein – Tauernregion auf ca. 1000 m Seehöhe.

Als Messort bei dem ein relativ hoher Anteil von Bioaerosolen bei gleichzeitig niedriger Gesamtpartikelanzahl zu erwarten war, wurde Tamsweg ausgewählt. Dieser Ort liegt in den Niederen Tauern, ist aber im Vergleich zu Bad Gastein wesentlich weniger gebirgig. Außerdem ist die Stadt von land- und forstwirtschaftlichen Gebieten umgeben, was die erhöhte Anzahl von Bioaerosolen begründet. Das geringe Verkehrsaufkommen bewirkt zusammen mit der geringen Industrialisierung des Gebietes die relativ geringen Partikelkonzentrationen. Hier wurden die Probenahmen an einer Luftmessstation des Landes Salzburg durchgeführt, welche sich im Zentrum der Kleinstadt befindet, und zwar in einem Wohngebiet mit geringem Verkehrsaufkommen. Diese Messstation befindet sich auf 1040 m Seehöhe.

Als Messort mit hohen zu erwartenden Partikelkonzentrationen wurden zwei Punkte in der Stadt Salzburg ausgewählt, die beide an sehr verkehrsreichen Straßenkreuzungen liegen. Der eine Standort befindet sich direkt neben dem Müllnerbräu, auf dessen Parkplatz die Messungen durchgeführt wurden. Die Anzahl der vorbeifahrenden Fahrzeuge beträgt ca. 400 bis 600 pro Stunde. Die Messungen wurden in einem Abstand von ca. 60 m zur Straße durchgeführt. Der andere Standort befindet sich direkt an einer der meist befahrenen Kreuzungen Salzburgs: Aiglhofstraße, Innsbrucker Bundesstraße und Rudolf-Biebl-Straße. Hier kann man in

den Hauptverkehrszeiten von einer Anzahl von 1000 bis 1200 Fahrzeugen pro Stunde ausgehen. Da sich Parkanlagen zwar in der näheren Umgebung, nicht aber in unmittelbarer Nachbarschaft befinden, war mit einem mittleren Bioaerosolanteil zu rechnen.

Als Messort mit mittleren bis hohen Partikel- und Bioaerosolkonzentrationen wurde das Gelände der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg gewählt. Hier sorgt eine ca. 150 m entfernte, stark befahrene Hauptstraße für erhöhte Partikelwerte, während der unmittelbar benachbarte botanische Garten ausreichend biogene Aerosole generiert. Die Messanordnung war direkt vor dem Eingang zum Radiologischen Messlabor des Instituts für Physik und Biophysik der Universität platziert. Auf der anderen Seite befindet sich der parkähnliche, botanische Garten, der zum Areal der Universität gehört.

## 2.2 Geräte und Methoden

Die größtenfraktionierte Sammlung der Aerosole erfolgte mit einem Filtersystem aus sechs Polyesterfiltern mit unterschiedlicher Porengröße, die hintereinander geschaltet sind. Die verwendeten Porengrößen lagen zwischen 0,1 und 10  $\mu\text{m}$ . Eine Vakuumpumpe saugt die Luft mit einem Durchsatz von ca. 9  $\text{m}^3$  pro Stunde durch die Filter. Die Aerosolmasse wurde durch Wägung mit einer mit 10  $\mu\text{g}$  Genauigkeit arbeitenden Digitalwaage bestimmt. Die Filter mit den größeren Porendurchmessern wurden mit einem Elektronenmikroskop auf Pollen untersucht. Außerdem wurden die Filter neutronenaktiviert und gammaspektrometrisch analysiert.

Parallel dazu wurden identische Filter nach Beladung gammaspektrometrisch auf Radon-Zerfallsprodukte untersucht. Um Aussagen über die Gesamt-Radon-Zerfallsprodukt-Konzentration in der Luft machen zu können, wurden außerdem während jeder Messreihe mehrere Filter mit einem sogenannten „High-Volume-Sampler“ beladen und diese ebenfalls gammaspektrometrisch ausgewertet.

Die Partikelkonzentrationen wurden mit einem elektronischen Partikelzähler, welcher nach dem Laserprinzip arbeitet, ermittelt. Dabei werden acht Größenintervalle im Bereich von 0,3 bis über 10  $\mu\text{m}$  erfasst.

Die Konzentrationen von Bakterien und Pilzsporen wurden mit einem Kaskadenimpaktor für mikrobiologische Zwecke bestimmt. Dabei handelte es sich um ein Gerät, welches Luft durch hintereinander geschaltete Düsenplatten saugt und dabei den Luftstrom an Petrischalen mit Nährmedien vorbei führt. Damit kann man sechs Größenintervalle von 0,65 bis größer 7  $\mu\text{m}$  unterscheiden. Um eine möglichst genaue Erfassung der verschiedenen Bioaerosolklassen zu erreichen, wurden drei für Bakterien und Pilzsporen unterschiedlich selektive Nährmedien verwendet, und zwar jeweils mehrere Sätze pro Beprobung.

Die gesamte Probenahmezeit betrug vier bis sechs Stunden pro Messung.

### 3.1 Partikelkonzentrationen

Betrachtet man die Mittelwerte der Partikelkonzentrationen für kleinere Durchmesser in den einzelnen Probenahmeorten in Abb. 1, so erkennt man, dass diese erwartungsgemäß in den kleinen Größenfraktionen im großstädtischen Bereich wesentlich höher sind als im kleinstädtischen. Dabei liegen die Werte in Salzburg Stadt noch deutlich höher als an der Universität, während sich Tamsweg und Gastein kaum unterscheiden.

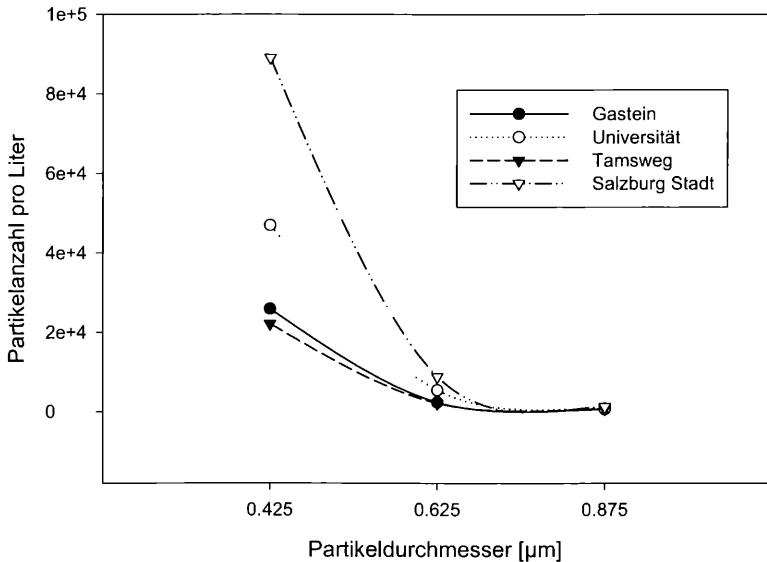


Abb. 1: Partikelkonzentrationen in Abhängigkeit vom Partikel-Durchmesser an den einzelnen Messorten für kleinere Teilchendurchmesser

Im mittleren Größenbereich nähern sich die Werte von Salzburg Stadt und Tamsweg an, während Gastein und die Universität sehr ähnliche aber deutlich niedrigere Konzentrationen aufweisen (Abb. 2).

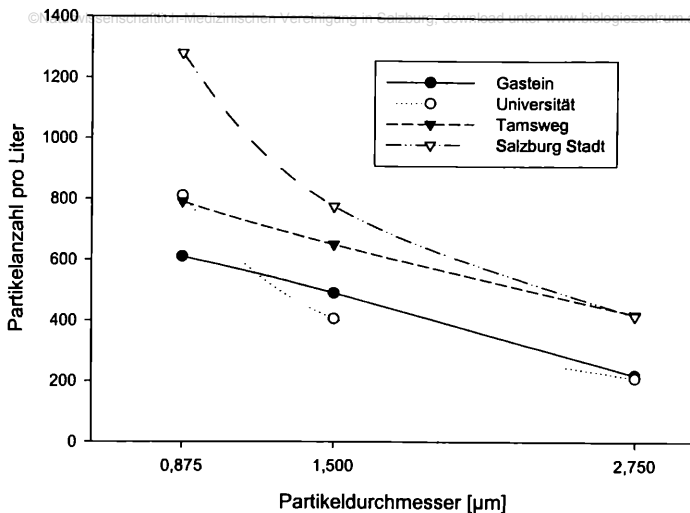


Abb. 2: Partikelkonzentrationen in Abhängigkeit vom Partikel-Durchmesser an den einzelnen Messorten für mittlere Teilchendurchmesser

In den größeren Partikelfractionen ergibt sich wieder ein anderes Bild (Abb. 3). Hier hat nun Tamsweg deutlich die höchsten Werte, während Salzburg Stadt und Gastein vergleichbare Konzentrationen aufweisen. Im Vergleich dazu werden die niedrigsten bei der Universität gefunden.

Die Konzentrationsverteilungen der Aerosolpartikel spiegeln in den kleinen Größenfraktionen genau die Belastung der Luft durch den Straßenverkehr wieder. In den mittleren Größenstufen dominieren Teilchen, die durch die Landwirtschaft oder durch Bautätigkeit in der Nähe des Messortes Tamsweg erzeugt wurden. Die Partikel, welche durch solche Prozesse generiert werden, sind erfahrungsgemäß wesentlich größer als Teilchen, welche durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen.

Dieser Trend verstärkt sich noch in den größeren Fraktionen, wobei Gastein fast an die Werte von Salzburg Stadt heranreicht. Dies könnte in der bei beiden Messorten ähnlichen Dichte von Wohnhäusern und den damit zusammenhängenden spezifischen Aerosolen begründet sein. Im Vergleich dazu ist die Wohnhausdichte am Standort Universität eindeutig am geringsten.

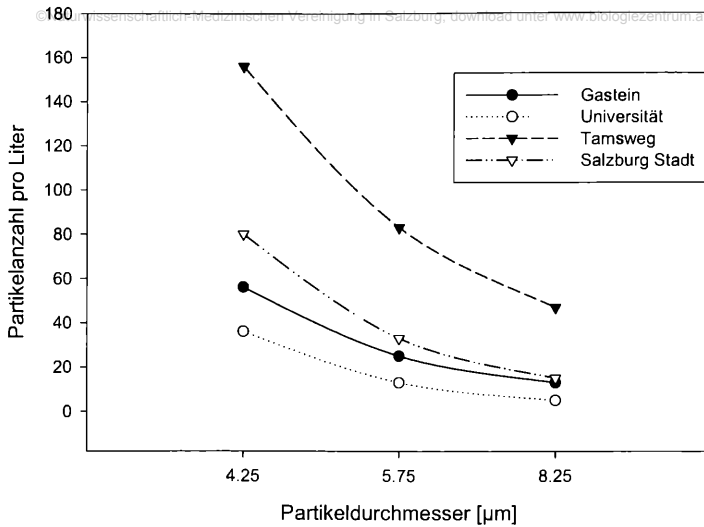


Abb. 3: Partikelkonzentrationen in Abhängigkeit vom Partikel-Durchmesser an den einzelnen Messorten für große Teilchendurchmesser

### 3.2 Massenkonzentrationen

Vergleicht man die Mittelwerte der Massenkonzentrationen der einzelnen Standorte, so spiegeln diese ungefähr die Partikelkonzentrationen wieder (Abb. 4).

Die Kurvenverläufe für Universität, Gastein und Tamsweg sind nahezu identisch. Nur derjenige für Salzburg Stadt weicht hiervon ab. Hier liegt nämlich kein Maximum zwischen 1 und 2 µm Partikeldurchmesser vor. Die hohen Partikelkonzentrationen in den kleinen Größenfraktionen an diesem Messort gehen wie erwartet nicht in die Massenkonzentrationen ein. Dies führt zu der Annahme, dass es eine in Bezug auf Dichte und Zusammensetzung des Aerosols ortsspezifische Charakteristik gibt.

Wenn man die Teilchendichten oder die relativen Partikelmassen betrachtet, stellt man fest, dass diese an ein und demselben Messort an unterschiedlichen Messtagen sehr ähnlich sind.

Um nun entscheiden zu können, ob sich Partikel bevorzugt an Bioaerosole anlagern, wurden die Massen in den einzelnen Größenstufen mit den entsprechenden prozentualen Anteilen der Bioaerosole an den Gesamtpartikelzahlen verglichen. Untersucht wurden dabei die Größenstufen 2 – 5 µm, 5 – 10 µm und > 10 µm.

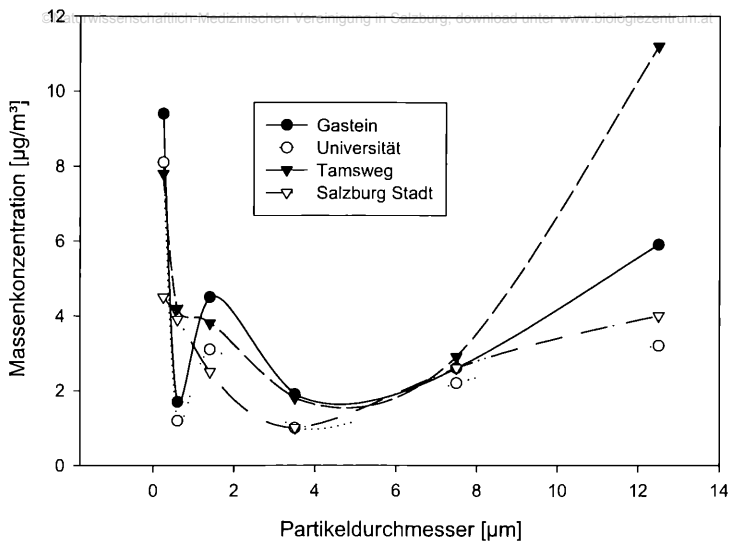


Abb. 4: Massenkonzentrationen in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser an den einzelnen Messorten.

Zur Darstellung sei bemerkt, dass in den ersten beiden Größenstufen die Masse der Einzelpartikel dadurch berechnet wurde, dass als Partikeldurchmesser der Mittelwert des erfassten Größenintervalls angenommen wurde, um die Daten bezüglich der Gesamtpartikelkonzentrationen zu relativieren. Da es bei den Aerosolen über 10 µm Durchmesser messtechnisch keine Obergrenze gibt, wurde hier als durchschnittlicher Partikeldurchmesser 12,5 µm angenommen. Dadurch sind die angegebenen Partikelmassen nicht als Absolutwerte zu verstehen, sondern dienen nur einer vergleichenden Darstellung. Um die statistischen Schwankungen zu verringern, wurden die Messwerte mit jeweils ähnlichen Bioaerosolkonzentrationen zusammengefasst. Allgemein ist hierzu noch zu erwähnen, dass die angegebenen Bioaerosolanteile nur den durch die verwendeten Messgeräte detektierbaren Anteilen entsprechen (AGRANOVSKI V et al.; 2003). Die tatsächlichen Absolutwerte dürften in jedem Fall höher liegen.

Betrachten wir zuerst die Größenstufe von 2 bis 5 µm in Abb. 5.

Es ist kein Zusammenhang zwischen Bioaerosolanteil und Partikelmasse zu erkennen. Dies liegt augenscheinlich an den sehr geringen Bioaerosolkonzentrationen. In Konzentrationsbereichen von deutlich unter einem Prozent ist erwartungsgemäß kein Zusammenhang mit der Partikelmasse zu beobachten.

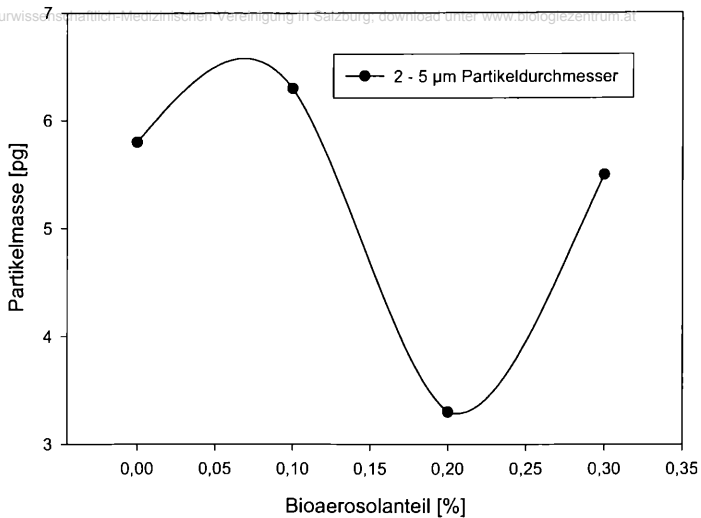


Abb. 5: Partikelmasse in Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil.

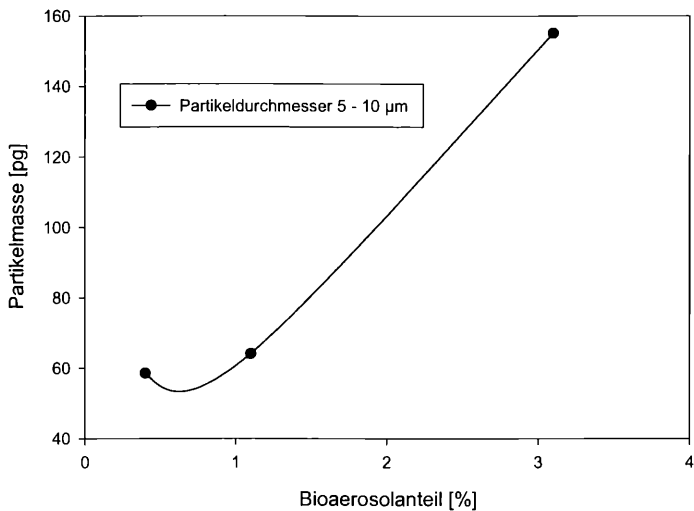


Abb. 6: Partikelmasse in Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil.



Im Größenbereich von 5 bis 10  $\mu\text{m}$  sehen die Werte ganz anders aus, wie in Abb. 6 dargestellt. Es ist hier deutlich ein Anstieg der Partikelmasse mit erhöhter Bioaerosolkonzentration zu erkennen.

Diese Tendenz wird noch deutlicher, wenn man die Werte für Aerosole mit einem Durchmesser von mehr als 10  $\mu\text{m}$  betrachtet, wie in Abb. 7 dargestellt.

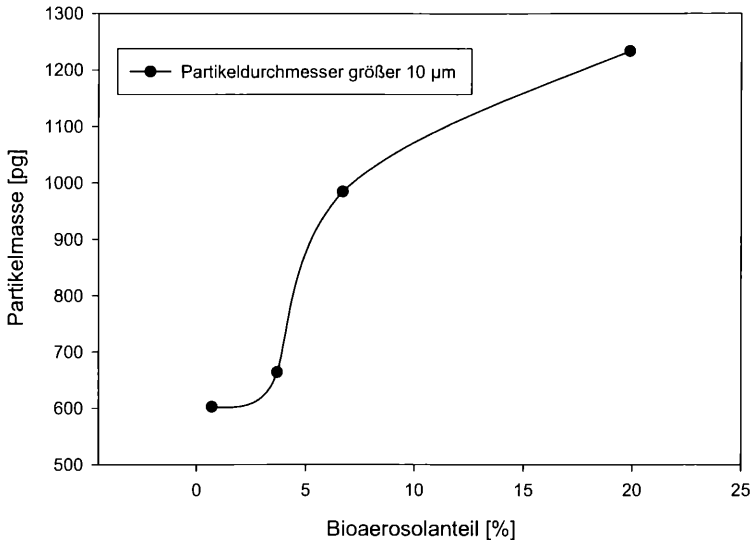


Abb. 7: Partikelmasse in Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil.

Analysiert man diesen Zusammenhang zwischen erhöhter Partikelmasse und Bioaerosolanteil, so kommen dafür zwei mögliche Mechanismen in Frage. Erstens könnte die mehr sphärische Form der biogenen Aerosole zu einer Erhöhung der Dichte führen. Zweitens könnten spezifische Anlagerungsmechanismen dafür verantwortlich sein, dass sich Kleinpartikel bevorzugt an Bioaerosole anlagern.

### 3.3 Aktivitätskonzentrationen

Um zwischen den beiden Möglichkeiten entscheiden zu können, wurden die Aktivitäten der Radon-Zerfallsprodukte in den einzelnen Größenstufen mit den entsprechenden Bioaerosolanteilen in Verbindung gebracht. Um die Messwerte der einzelnen Standorte, an denen sehr unterschiedliche Radonkonzentrationen vorhanden sind, miteinander vergleichen zu können, wurden die Einzelwerte auf den Maximalwert der Gesamtaktivität normiert. Deshalb werden sie im folgenden als relative Aktivitäten bezeichnet.

Im Größenbereich von 2 – 5  $\mu\text{m}$  wurde wiederum kein Zusammenhang beobachtet. Abb. 8 stellt die Werte für die Größenstufe 5 – 10  $\mu\text{m}$  dar.

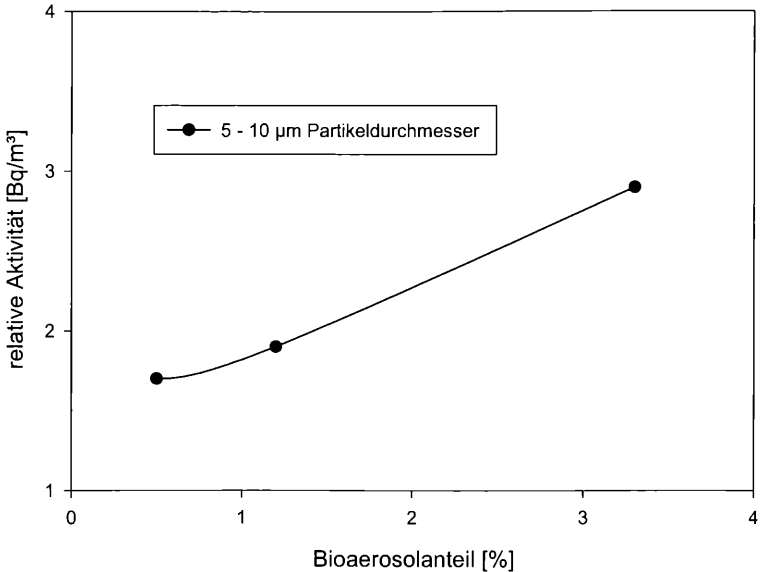


Abb. 8: Relative Aktivitäten der Radon-Zerfallsprodukte in Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil.

Man sieht einen sehr ähnlichen Kurvenverlauf wie bei der Darstellung der Masse (Abb.6). Die entsprechenden Werte für Partikel über 10  $\mu\text{m}$  sind in Abb. 9 dargestellt.

Auch hier ähnelt der Kurvenverlauf sehr stark demjenigen für die Masse (Abb.7). Damit scheint ein Vorhandensein von spezifischen Anlagerungsmechanismen für kleiner Partikel an biologische Aerosole durchaus möglich. Dies müßte jedoch mit weiteren Messreihen noch erhärtet werden.

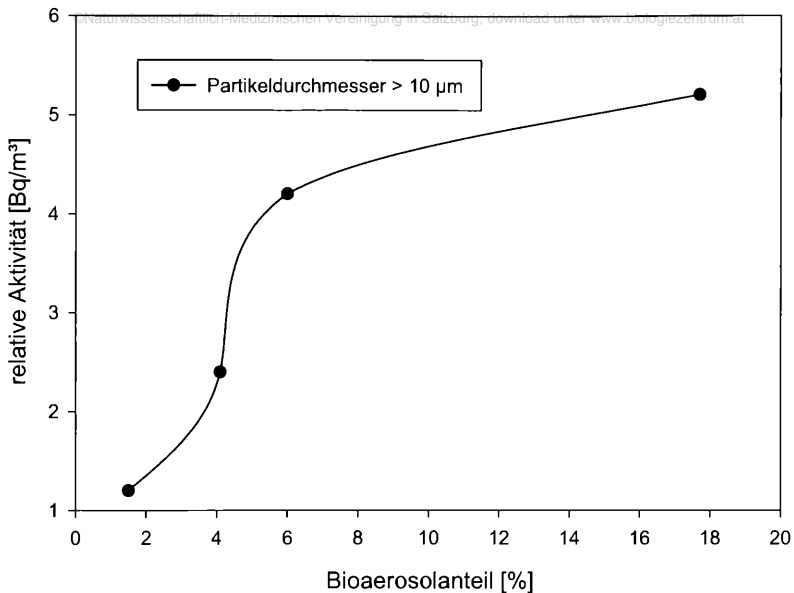


Abb. 9: Relative Aktivitäten der Radon-Zerfallsprodukte in Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil.

### 3.4 Schwermetallkonzentrationen

Um die Anlagerungstheorie noch weiter zu verifizieren, wurden auch die Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalyse betrachtet. Da für die meisten der detektierten Schwermetalle die Messreihen Lücken aufwiesen (was in erster Linie auf die geringen Konzentrationen zurückzuführen ist, die oft auch unter der Nachweisgrenze lagen), wurden exemplarisch die Zink-Konzentrationen an den Messorten Tamsweg, Universität und Salzburg Stadt in bezug auf die Bioaerosolkonzentrationen miteinander verglichen. Dabei wurde auf die Gesamtpartikelanzahl und die Gesamtzinkkonzentration, welche ebenfalls gemessen wurde, normiert. Die Abb. 10 und 11 geben die Ergebnisse für die zwei untersuchten Größenstufen wieder.

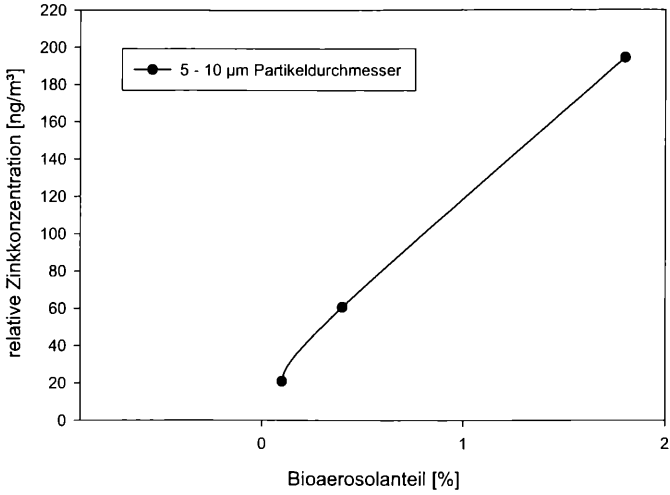


Abb. 10: Relative Zinkkonzentrationen in Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil.

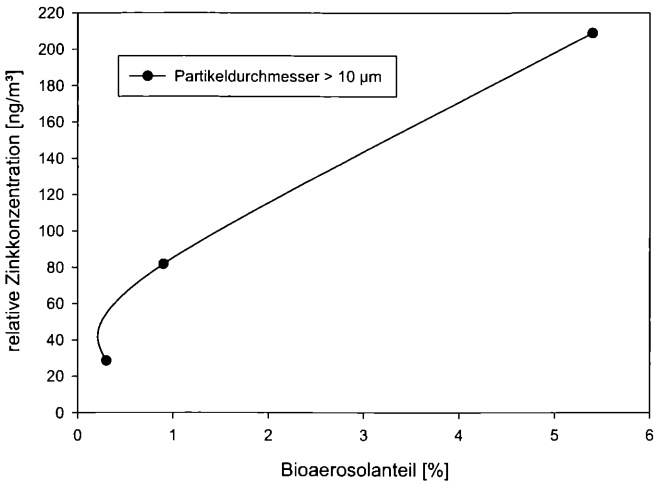


Abb. 11: Relative Zinkkonzentrationen in Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil.

In beiden Größenbereichen ist ein sehr deutlicher Zusammenhang zwischen Bioaerosolanteil und Schwermetallkonzentration festzustellen.

Betrachtet man nun die gesamten Messergebnisse zusammen, so werden zunächst die charakteristischen Unterschiede der Aerosolzusammensetzungen an den verschiedenen Meßorten deutlich. Dies betrifft die Gesamtpartikelkonzentrationen, die Partikelmassen, die Bioaerosolanteile, die Aktivitäten der Radonzerfallsprodukte und die Schwermetallkonzentrationen. Wenn man jedoch die Meßwerte normiert, so ist – zumindest in den größeren Fraktionen – ein deutlicher Anstieg der Partikelmassen, der Aktivitäten und der Schwermetallkonzentrationen mit einer Erhöhung des Bioaerosolanteiles zu erkennen.

Wenn man die Partikelmassen in den einzelnen Größenstufen mit dem Bioaerosolanteil in Beziehung setzt, so sieht man, dass diese für Partikel mit einem Durchmesser zwischen 5 und 10  $\mu\text{m}$  und größer 10  $\mu\text{m}$  mit erhöhtem Bioaerosolanteil deutlich ansteigen (Abb. 6 und 7). In den darunter liegenden Größenfraktionen ist kein Zusammenhang zu erkennen, da die Bioaerosole hier keinen nennenswerten Beitrag zur Gesamtpartikelanzahl leisten (Abb. 5).

Für eine solche Erhöhung der Massen der Einzelpartikel können grundsätzlich zwei Mechanismen verantwortlich sein: eine mehr sphärische Form der Bioaerosole, welche zu einer Erhöhung der Teilchendichte führt und eine spezifische Anlagerung von kleinen Teilchen an Bioaerosole. Um entscheiden zu können, welcher der beiden Mechanismen überwiegt, wurden die Aktivitäten der angelagerten Radon-Zerfallsprodukte in den beiden in Frage kommenden Größenfraktionen ebenfalls mit der Bioaerosolkonzentration in Zusammenhang gebracht, da hierbei die Oberfläche und nicht die Dichte der Teilchen entscheidend ist. Auch hier ist ein deutlicher Anstieg der Aktivitäten mit steigendem Bioaerosolanteil zu erkennen (Abb. 8 und 9). Damit liegt die Vermutung nahe, dass tatsächlich spezifische Anlagerungsmechanismen für Luftschadstoffe an biologische Aerosole vorhanden sind.

Um diese Annahme noch weiter zu verifizieren, wurden die Konzentrationen von einigen umweltrelevanten Schwermetallen auf eine Abhängigkeit vom Bioaerosolanteil hin untersucht. Auch hier stärken die Ergebnisse die Annahme von spezifischen Anlagerungsmechanismen (Abb. 10 und 11).

## 5 Zusammenfassung

Die gesundheitliche Bedeutung der Aerosole biogenen Ursprungs für den Menschen wurde in den letzten Jahren immer deutlicher erkannt. Dabei spielt auch die Frage eine große Rolle, ob sich kleinere Teilchen wie Radon-Zerfallsprodukte und Schwermetalle bevorzugt an Bioaerosole anlagern. Zudem hat die Größe der eingeatmeten Teilchen einen entscheidenden Einfluss auf die gesundheitliche Relevanz derselben. Um den Carrier-Mechanismus von biologischen Aerosolen zu untersuchen, wurden die Gesamtpartikelanzahlen und die Konzentrationen der Bioaerosole gemessen und mit der Aerosolmasse in den verschiedenen Größenstufen verglichen.

Der hierbei beobachtete Zusammenhang (zumindest bei größeren Teilchen) kann entweder von einer erhöhten Dichte der Bioaerosole herrühren, oder von spezifischen Anlagerungsmechanismen. Um dies entscheiden zu können, wurden zusätzlich in den in Frage kommenden Größenstufen die Aktivitäten der Radon-Zerfallsprodukte gemessen und mit dem Bioaerosolanteil verglichen. Der auch hierbei zu beobachtende Zusammenhang kann nicht durch Erhöhung der Dichte begründet werden, da hier die Oberfläche der Teilchen ausschlaggebend ist. Schließlich wurde noch die Konzentrationen verschiedener Elemente (vor allem gesundheitsrelevanter Schwermetalle) durch Neutronen-Aktivierungs-Analyse bestimmt. Auch die dabei erhaltenen Werte scheinen einen positiven Zusammenhang mit der Bioaerosolkonzentration zu haben.

## 6 Summary

The significance of aerosols of biogenic origin for human health has become more apparent in recent years. This raises the question whether smaller particles, such as radon progeny and heavy metals, are attached specifically to bioaerosols, as the size of inhaled particles has a decisive influence on the resulting health effects. To investigate the potential carrier mechanism of bioaerosols, total particle numbers and concentrations of bioaerosols were measured and compared in the different size fractions. The observed correlation (at least for larger particles) may depend on a higher density of the bioaerosols or on specific mechanisms of attachment. To decide which of the two mechanisms dominates, the activities of radon progeny were measured and compared to the bioaerosol concentrations in the size fractions of interest. The observed correlation cannot be explained by a higher density of the particles as that is related to the surface of the particles. Finally the concentrations of different elements (especially health relevant heavy metals) were determined by neutron activation analysis. Also these results seem to have a positive correlation with bioaerosol concentration.

## Literatur

- AGRANOVSKI V et al.: Real-time measurement of bacterial aerosols with the UVAPS: performance evaluation, *Journal of Aerosol Science* Vol. 34, 301-317, 2003
- GLIKSON M. et al.: Microscopic and submicron components of atmospheric particulate matter during high asthma periods in brisbane, Queensland, Australia, *Atmospheric Environment* Vol. 29, 1995

Anschrift der Verfasser:                    Universität Salzburg  
    Institut für Physik und Biophysik  
    Hellbrunnerstraße 34  
    A-5020 Salzburg

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereinigung in Salzburg](#)

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: [14](#)

Autor(en)/Author(s): Rettenmoser Thomas, Kagerer Stephan, Hofmann Werner

Artikel/Article: [BIOLOGISCHE AEROSOLE ALS CARRIER FÜR LUFTSCHADSTOFFE. 169-182](#)