



Dustri-Verlag
Dr. Karl Feistle
München-
Deisenhofen

Atemwegs- und Lungenkrankheiten

Organ der Gesellschaft für Lungen- und Atmungsforchung,
Bochum,
der Bad Reichenhaller Forschungsanstalt
für Krankheiten der Atmungsorgane
und der Rheinisch-Westfälischen Vereinigung
für Lungen- und Bronchialheilkunde, Düsseldorf

Jahrgang 13
Januar 1987
Heft 1



750-19

is journal is regularly listed in Current Contents/Clinical Practice

Kindliches Asthma bronchiale

Klimafaktoren
Krankengymnastik
Sportprogramme

Gastediton: J. Lecheler, Berchtesgaden

8000 MUENCHEN 22
POSTFACH 150
BAYER. STAATSBIBLIOTHEK
69
05A 5 500706

P87/30/15

Atemwegs- und Lungenkrankheiten

Zeitschrift für Diagnostik und Therapie

Schriftleitung

E. Krieger, Bad Reichenhall
(Herausgeber)
H. Fabel, Hannover
D. Nolte, Bad Reichenhall
G. Utz, Schwäbisch Hall

Kindliches Asthma bronchiale

Gasteditio: J. Lecheler, Berchtesgaden

1	Schadstoffbelastung der Luft im Hochgebirge <i>Angela Schub</i>	Pollution of the air in high mountains
6	Höhenabhängige Reduzierung des Pollenfluges und die Auswirkungen auf Kinder und Jugendliche mit Asthma bronchiale <i>J. Lecheler, U. Ehmer-Künkele und H. Schantl</i>	Altitude dependent reduction of pollen flight and the effect on children and adolescents suffering from asthma bronchiale
8	Allergisches Asthma im Hochgebirgsklima <i>H. Razzouk</i>	Treatment of bronchial asthma in the high mountainous climate
13	Langzeitbehandlung von Kindern mit schwerem Asthma bronchiale im Hochgebirgsklima <i>J. Lecheler</i>	Long-term rehabilitation of asthmatic children in high alpine climate
18	Krankengymnastische Atemtherapie beim Asthma bronchiale im Kindes- und Jugendalter <i>Hilla Ehrenberg</i>	Chest physiotherapy by asthmatic children and juvenils
23	Zur Häufigkeit des »Anstrengungsasthmas« <i>H. Lindemann</i>	The incidence of »exercise-induced asthma«
28	Testprogramm zur Beurteilung des Anstrengungsasthmas <i>W. Nowak, P. Linse und U. Weber</i>	Test programme for evaluation of stress asthma
32	Erfahrungen mit ambulanten Asthma- Sportgruppen <i>J. Innenmoser</i>	Experience with ambulant asthma sport groups



Dustri-Verlag
Dr. Karl Feistle
München-
Deisenhofen

Schadstoffbelastung der Luft im Hochgebirge

ANGELA SCHUH

*Institut für medizinische Balneologie und Klimatologie (Vorstand: Prof. Dr. H. Drexel)
der Universität München*

Schadstoffbelastung der Luft im Hochgebirge. Im Gegensatz zu der kaum mehr überschaubaren Fülle von Schadstoffmessungen in Ballungsgebieten gibt es nur wenige Daten aus dem Hochgebirge. In den vom Hochgebirgsklima beeinflussten Gebieten, in denen sich bei uns die Klimatherapie abspielt, ist je nach der Nähe zu Schadstoffquellen und den Ausbreitungsbedingungen die Luft fast rein oder mäßig belastet. Die Verhältnisse sind örtlich und zeitlich so variabel, daß nur durch umfangreiche Meßreihen der Nachweis für den tatsächlichen Grad und Verlauf der Schadstoffkonzentrationen erbracht werden kann. Sicher ist aber, daß die für den Asthmatiker wichtigen partikel- und gasförmigen Luftbeimengungen im Gebirge in geringerer Konzentration vorkommen als im Flachland.

Schlusßwörter: Hochgebirgsklima – Schadstoffbelastung der Luft – Asthma – Klimatherapie.

Pollution of the air in high mountains. There are only some measurings of air pollution in high mountain areas in contrary to the scarcely comprehensible amount of measurings in the built-up areas. In the areas influenced by the high mountainous climate – where our climatic therapy takes place – the air is almost clean or only moderately polluted according to the vicinity of sources of pollution and the conditions of their extension. The conditions are locally and in time so variable that proof for the actual level and process of the pollution concentration can only be produced by means of extensive measurings. One fact is certain: the important particle and gas-formed air mixture is in the mountains less in concentration than on the plain.

Key words: High mountainous climate – air pollution – asthma – climate therapy.

Dieses Thema verbindet zwei Dinge miteinander, die nur schwer in einem Zug genannt werden können: Hochgebirgsklima und Schadstoffbelastung. Das Hochgebirge ist meteorologisch für Lagen ab 1000 bis 1500 m über Meereshöhe definiert; das Verhalten der meteorologischen Elemente nähert sich dort an die freie Atmosphäre an. Daher sollte man auch kaum Schadstoffe erwarten.

Wenn man bei der Klimatherapie vom Hochgebirgsklima spricht, so bezieht man meist auch die nähere Umgebung der hohen Berge mit ein. Gebirgstäler wie Berchtesgaden oder Garmisch-Partenkirchen werden je nach Wetter oder Tageszeit mit »Höhenluft« versorgt. Beispiel dafür sind die Berg-Talwind- oder

Hangauf- und -abwindzirkulationen: Mit dem Bergwind fließt z. B. nachts die kühle und saubere Luft des Hochgebirges in die Täler; so kann also bei weitgefaßter Definition z. B. das Berchtesgadener Klima auch als vom »Hochgebirge beeinflusstes Klima« bezeichnet werden.

Doch was zeichnet das Hochgebirgsklima im Verhältnis zu den anderen Klimata besonders aus? Zunächst ändern sich mit zunehmender Höhe fast alle meteorologischen Parameter. Es findet sich eine vermehrte Direkt- und Ultraviolettstrahlung, verstärkte Windgeschwindigkeit sowie verringerte Himmelsstrahlung*. Die Lufttemperatur wird niedriger, der Luftdruck nimmt ab, und aus dem reduzierten Luftdruck resultiert auch ein geringerer Sauerstoffpartialdruck.

Noch schneller verringert sich der Wasserdampf-Partialdruck, also die spezifische Feuchte der Luft. Zusätzlich nehmen mit zunehmender Seehöhe die anthropogenen – also vom Menschen verursachten – Luftverunreinigungen in Gas- und Aerosolform ab. Die Veränderung einiger Parameter ist in Abbildung 1 dargestellt.

Das Gemisch der Luft mit festen oder flüssigen Teilchen nennt man Aerosol. Das Größenspektrum umfaßt Partikel von submikroskopischen Größen, die nur aus wenigen Molekülen zusammengesetzt sind, bis etwa zu Regentropfen. Im Aerosol sind Salze, Staubkörner, Rußteilchen und organische Bestandteile enthalten. Außerdem gehören Blütenpollen und Sporen zu den festen Schwebeteilchen der Atmosphäre.

In diesem Zusammenhang muß auch auf die Wohnungsmilben hingewiesen werden: Sie werden mit dem Hausstaub eingeatmet und sind als Allergene wirksam. Ihre Verbreitung hängt stark von der Luftfeuchtigkeit ab. Mit zunehmender Höhe wird die Feuchte wesentlich geringer; Milbenasthma und Milbenexzeme verschwinden deshalb im Höhenklima.

Alle genannten Partikel vermindern sich mit zunehmender Höhe. Andererseits können sich in tieferen Lagen bei entsprechenden Wettersituationen hohe

* Himmelsstrahlung ist der nach Abzug der direkten Sonnenstrahlung verbleibende Teil der gesamten zur Erde gelangenden Strahlung.

	Luftdruck O ₂ -Druck	Wasser- dampf	Aerosol	aktin. Strahlg.	Wärmebilanz = Temp.+Strahlg. +Wind+Feuchte
Sommer	↘	↘↘	↘	↗	↘ ~~~~~
Winter	↘	↘↘	↘↘	↗↗	↗ ~~~~~
beein- flußbar	- (Bergbahn) +	-	-	+	+

Abb.1 Veränderung meterologischer Parameter im Gebirge.

Teilchenkonzentrationen ansammeln. Gleichzeitig kann bei austauscharem Wetter (z. B. Inversionen) – vorwiegend im Winter – die Höhenluft bezüglich ihrer Reinheit die höchste Güte des Jahres erreichen. Sie ist dann frei von Allergenen. In Abbildung 2 ist dies am Beispiel des Schwebstaubs dargestellt [4]. Dies dürfte in der Behandlung von Asthmatikern und lungenkranken Patienten von größter Bedeutung sein.

Die Luft enthält aber nicht nur feste, sondern natürlich auch gasförmige Beimengungen. Unsere Atemluft ist ein Gasgemisch, das nicht nur Sauerstoff und Stickstoff enthält, sondern auch Edelgase, Kohlendioxid und viele andere Gase (Tab.1). Ihre Anteile schwanken teilweise in weiten Grenzen: auch die »reine Luft« enthält also bereits die meisten als anthropogene Schadstoffe bekannten Substanzen.

Zunächst einige grundsätzliche Zusammenhänge: Jeder Schadstoff wird aus einer Quelle emittiert. Über verschiedene Transportwege gelangt er dann unter anderem in die Atemluft. Auf dem Weg von einer Quelle im Flachland zum Gebirge wird der Stoff verdünnt, umgewandelt und ausgeschieden; z.B. durch Niederschlag. Durch diese Vorgänge ist die Luft im Gebirge fast frei von Allergenen. Die anthropogenen gasförmigen

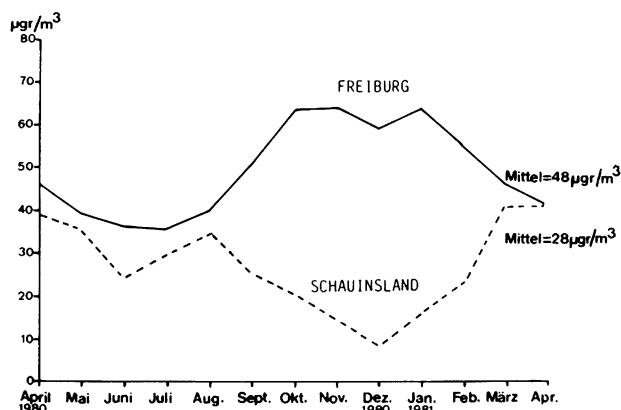


Abb.2 Jahresverlauf der Staubkonzentration zwischen Niederung und Hochlagen [4].

gen Beimengungen werden im Laufe ihres Transportes unter Umständen in andere Stoffe umgewandelt. Je länger der Weg oder je günstiger die meterologische Situation ist, desto geringere Schadstoffkonzentrationen gelangen ins Gebirge. Selbst bei naheliegenden Emittenten ist die effektive Transportentfernung nicht unbedingt der geographischen Entfernung gleichzusetzen, denn abgesehen von der horizontalen Windrichtung spielen die vertikalen Austauschvorgänge dabei eine große Rolle. Strömt die Luft z. B. direkt aus Bodennähe ins Gebirge hinauf, so werden die Beimengungen entlang der kürzest möglichen Strecke transportiert. Bei Zufuhr von Luft von oben ist der Transportweg von der Quelle groß, das heißt, daß die verschmutzte Luft praktisch das Gebirge gar nicht erreichen kann. Dies geschieht z. B. bei Bergwind. Da es im Gebirge selbst wenige Schadstoff-Quellen gibt und zusätzlich eine große effektive Entfernung zu Quellen im Flachland vorliegt, gelangen relativ wenig anthropogene Schadstoffe in die Gebirgsluft. Dies gilt auch trotz der großen Emissionen der Bundesrepublik und

Gasart	chemisches Symbol	Gehalt in ppm	$\mu\text{g m}^{-3}$	Mittlere Auf- enthaltsdauer in der Atmosphäre
Kohlendioxid	CO ₂	300–400	$(6-8) \cdot 10^5$	4 a
Kohlenmonoxid	CO	0,01–0,2	10–200	etwa 0.3 a
Methan	CH ₄	1,2–1,5	850–1100	etwa 100 a
Formaldehyd	CH ₂ O	0–0,01	0–16	?
Stickoxide	N ₂ O	0,25–0,6	500–1200	etwa 4 a
	NO ₂	$(1-4,5) \cdot 10^{-3}$	2–8	wenige d
Ammoniak	NH ₃	0,002–0,02	2–20	?
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	$(2-20) \cdot 10^{-3}$	3–30	etwa 40 d
Schwefeldioxid	SO ₂	0–0,02	0–50	etwa 5 d
Chlor	Cl ₂	$(3-15) \cdot 10^{-4}$	1–5	wenige d
Jod	J ₂	$(0,4-4) \cdot 10^{-5}$	0,05–0,5	?
Fluorwasserstoff	HF	$(0,8-18) \cdot 10^{-3}$	0,7–16	?
Wasserstoff	H ₂	0,4–1,0	36–90	?
Ozon	O ₃	0–0,05	0–100	etwa 60 d

Tab.1 Übersicht über die variablen gasförmigen Luftbeimengungen in der Troposphäre. Nach [8]. a = Jahre, d = Tage.

ihrer Nachbarländer, denn trotz großräumiger Verfrachtungen und der teilweise langen Lebensdauer der Schadstoffe in der Atmosphäre gelangen durch die eben besprochenen Transportvorgänge nur Bruchteile der Emissionen in größere Höhen.

Am Beispiel des Schwefeldioxid (SO_2) soll die Abnahme mit der Höhe in der reinen Atmosphäre und bei SO_2 -Emission demonstriert werden: Schwefeldioxid wird oft als Indikator der allgemeinen Luftverunreinigung herangezogen. In der reinen, also nicht durch menschliche Einflüsse veränderten Luft nimmt die SO_2 -Konzentration bis in 3000 m Höhe rasch ab [3]; dort liegen dann die Werte um $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abb. 3).

Durch anthropogene Einflüsse verändert sich das Bild: Allein in der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 1982 3,0 Mio. t SO_2 emittiert [5]. Die starke Anreicherung mit SO_2 findet aber hauptsächlich in den untersten Luftschichten statt. Schon ab 1000 m besteht eine reine Atmosphäre mit natürlichen Schwefeldioxidwerten von etwa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dieses Beispiel zeigt, wie stark die Spurengase, auch bei starken Emissionen, mit der Höhe abnehmen. Abbildung 4 bringt noch einmal eine Zusammenstellung der Konzentrationen von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Ammoniak und Chlor in verschiedenen Reinluftgebieten im Vergleich zu Werten aus Frankfurt [3]. Punkte 4 und 5 sind Messungen auf der Zugspitze und bei St. Moritz. Die Meßwerte dort sind wesentlich geringer.

Anders liegen die Verhältnisse beim Ozon: Hier nimmt die Konzentration mit der Höhe zu. Ozon ist ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre und wird ständig in großer Höhe durch Sonneneinstrahlung gebildet. Es gelangt in einem stetigen Strom in die tieferen Schichten und wird bei Kontakt mit dem Boden zerstört. Hochgebirgsluft enthält deshalb durchschnittlich mehr Ozon der freien Atmosphäre als die Luft des Flachlandes ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ozon ist sehr toxisch; dies gilt aber nur für wesentlich höhere Konzentrationen, als sie im Hochgebirge vorkommen. Der im Gebirge vorzufindende Ozongehalt ist ein Kennzeichen für frische, unverbrauchte, saubere Luft und kann eventuell sogar als positiv zu bewertende Begleitsubstanz der Atemluft im Hochgebirge angesehen werden [2].

Die verfügbaren Daten sind nicht unmittelbar auf im Hochgebirge gelegene Kurorte zu übertragen. Es existieren fast keine Meßwerte und wenn, dann sind sie älteren Datums. Zusätzlich fehlen auch Dosis/Wirkungsbeziehungen zur Bewertung. Es existieren zwar Richtlinien, z. B. in Gestalt der TA-Luft [1]. Sie sind aber als Grundlage von Zulassungsverfahren für Großemittenten konzipiert und für Kurorte nicht anwendbar.

Unabhängig von Dosis/Wirkungsbeziehungen ist ein Vergleich mit Belastungsstufen. Man unterscheidet

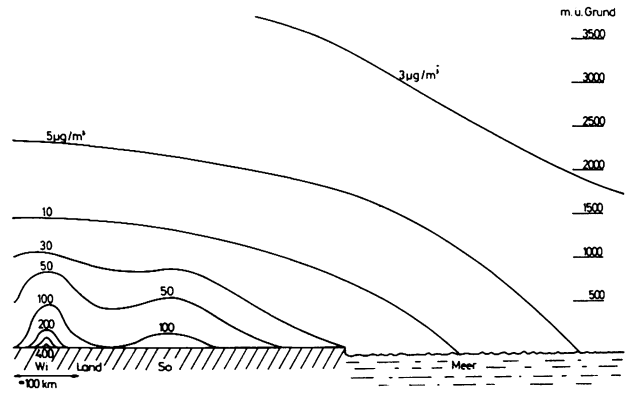


Abb. 3 SO_2 -Konzentration in der reinen Atmosphäre [3].

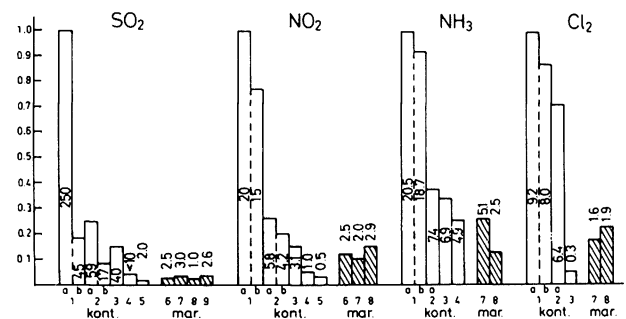


Abb. 4 Konzentration verschiedener Gase bei unterschiedlichen Belastungsstufen [3].

kont. = kontinentale Meßstellen (z. B.: 1 = Frankfurt, 4 = Zugspitze); mar. = maritime Meßstellen. Zahlen in den Balken = Konzentrations-Angaben.

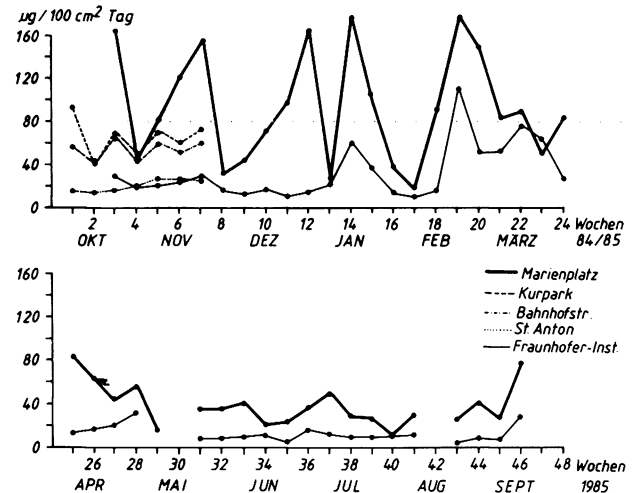


Abb. 5 Wochenmittel von Immissionsratenmessungen nach dem SAM-Verfahren an verschiedenen Ortspunkten in Garmisch-Partenkirchen [7]. Chemische Analyse: H. Röttmelt.

im Groben zwischen stark belasteten und wenig belasteten und Reinluftgebieten, also kaum belasteten Gebieten. In Tabelle 2 sind für verschiedene Luftverunreinigungen für die drei Belastungsstufen die typi-

Meßobjekt	Reinluft- gebiete	Wenig belastete Gebiete	Belastete Gebiete	Kurort Grenzwerte	Einheit
Staubniederschlag	20	50	200	200*	mg/m ² · d
				133**	mg/m ² · d
				83***	mg/m ² · d
Gasförmige Luftbeimengungen					
SO ₂	1–3	10–30	70–100	56	µg/m ³
NO ₂	1	5–15	40– 70	32	µg/m ³
NO	1	5–15	60–100	–	µg/m ³
CO	0,05	0,1	3– 5	4	mg/m ³
CO ₂	630	660	700	–	mg/m ³
Benz(a)pyren	–	0,01	20	–	ng/m ³
O ₃	0,05	0,1	0,12	–	mg/m ³
HF	–	0,02	0,1	–	µg/m ³
Schwebstaub	5	30–60	70–100	–	µg/m ³

* Ortszentrum, ** Wohngebiet, *** Kurgebiet

Tab. 2 Jahresmittel der Konzentration für verschiedene Schadstoffe bei drei Belastungsstufen. Nach [8].

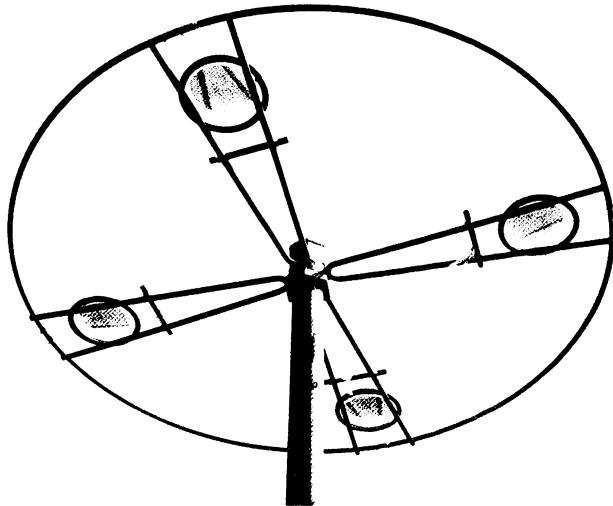


Abb. 6 SAM-Passivsammler.

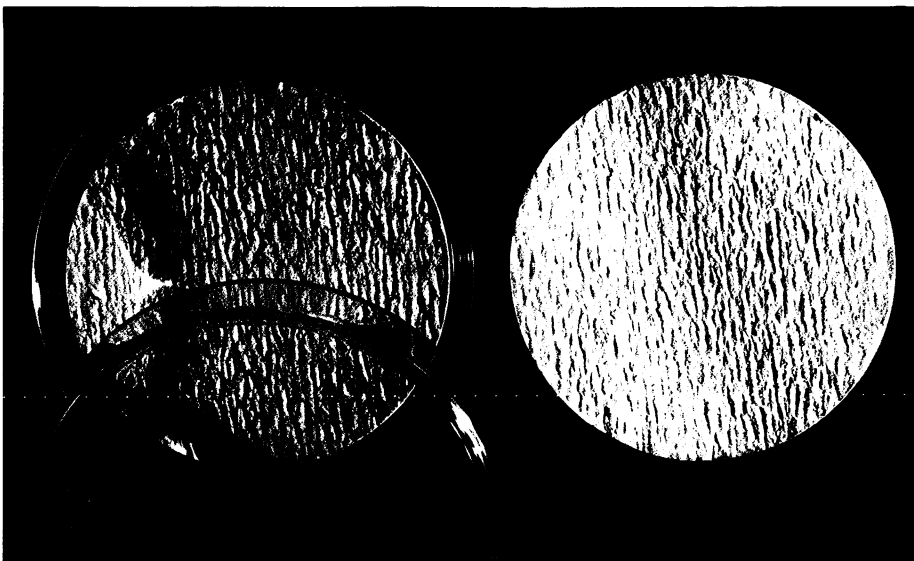


Abb. 7 Sammelfilter.

schen Jahresmittelwerte der Konzentrationen aufgetragen.

Reinluftverhältnisse werden heute nur noch im Hochgebirge oder auf Ozeanen angetroffen, unter ungünstigen Umständen können aber selbst dort vorübergehend Belastungen mit Schadstoffcharakter auftreten.

Schon kurze Einwirkungen höherer Konzentrationen von Luftverunreinigungen können Asthmaanfalle auslösen. Nicht nur deshalb müssen Kurorte im Gebirge, die Indikation die Krankheiten der Atemwege haben, besonders auf die Luftreinheit achten. Deshalb sind Messungen als Beleg für eine hinreichend reine Luft nötig. So lassen sich auch eventuell auftretende ungünstige Konstellationen bereits in ihren Anfängen feststellen, um dann soweit wie möglich für Abhilfe zu sorgen.

Als Beispiel sind in Abbildung 5 Messungen in Garmisch-Partenkirchen aufgetragen, die ein Jahr lang durchgeführt wurden [7]. Es fanden sich mit Ausnahme des Ortszentrums nur geringe Belastungen. Anhand dieser Verläufe sieht man, daß Unterschiede zwischen klein- und großräumigen Konzentrationsverteilungen gemacht werden müssen. Hier finden sich relativ hohe Werte im Verkehrszentrum, die aber mit zunehmender Entfernung stark abflachen und am Ortsrand niedrig liegen. Deshalb ist es wichtig zu steuern, wo sich die Kurgäste aufhalten, daß z.B. Terrainkuren auf Wegen außerhalb durchgeführt werden. Auf alle Fälle sollte den Patienten die Möglichkeit offenstehen, belastete Gebiete zu meiden und sich in unbelasteten Regionen aufhalten. Dies ist von heilklimatischen Kurorten – und da sind die Hochgebirgsorte mit einzuschließen – in besonderem Maße zu fordern.

Nun noch kurz zum Problem der Messungen der Hochgebirgsluft. Die Meßtechnik machte bislang Schwierigkeiten. Entsprechende Untersuchungen der für Schadgase zuständigen Institutionen, wie TÜV und LIS in Kurorten, sind bisher an hohen Kosten gescheitert. Die kontinuierlich messenden Geräte zur Luftüberwachung sind teuer, wartungsintensiv und für die in diesem Fall zu erfassenden niedrigen Schadstoffpegel wenig geeignet. Diese Schwierigkeiten treten bei

SAM-(Surface Absorption Measurement-)Verfahren [6] nicht auf. Diese billige Passivsammlungsmethode für Gase wurde vom Umweltbundesamt entwickelt (Abb. 6, 7). Jede Woche werden die Proben gewechselt und bei uns auf ihren Gesamtschwefel- und Stickoxidgehalt untersucht.

Die Meßergebnisse von Garmisch sind in Abbildung 5 dargestellt. Im Rahmen eines vom Bayerischen Umweltministerium geförderten Forschungsprojektes setzen wir in Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitsmedizin der Universität München das SAM-Verfahren noch an zahlreichen anderen Orten ein, z.B. in Bad Reichenhall. So soll also in Zukunft gewährleistet werden, daß die Schadstoffbelastung auch bei geringen Konzentrationen erfaßt werden kann.

LITERATUR

- [1] *Deutsche Bundesregierung*: Technische Anleitung Luft. Heider, Bergisch Gladbach 1983.
- [2] *Dirnagl K.*: Gesundheitsschäden durch künstliche Raum-Ozonisierung? Münch. med. Wschr. 107, 1414 (1965).
- [3] *Georgi H. W.*: Die Verteilung von Spurengasen in reiner Luft. In: Exp. Suppl. 13. Birkhäuser, Basel-Stuttgart 1966.
- [4] *Harlfinger O.*: Bioklimatischer Ratgeber für Urlaub und Erholung. G. Fischer, Stuttgart 1985.
- [5] *Lahmann E.*: Luftverunreinigungen – Emission und Immission in der Bundesrepublik Deutschland. PEF-Bericht 1, Kernforschungszentrum Karlsruhe 1985.
- [6] *Rumpel K.J.*: Ein Verfahren zur Feststellung flächendeckender Immissionsraten mit dem Immissionsratenmeßgerät SAM nach Rumpel. (Unveröff.).
- [7] *Schuh A., K. Dirnagl, H. Römmelt*: Zur Beurteilung der Luftreinheit in Kurorten. Heilbad und Kurort 37, 284–287 (1985).
- [8] *Schultz E.*: Probleme und Entwicklungen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung in Kurorten. Heilbad und Kurort 38, 9–16 (1986).

Frau Dr. rer. biol. hum. Dipl.-Met. Angela Schuh
Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität
Marchioninistraße 17
D-8000 München 70