

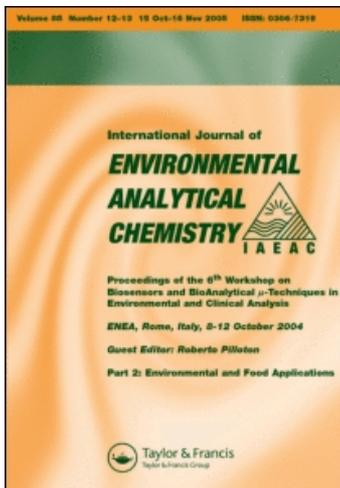
This article was downloaded by:

On: 30 January 2011

Access details: *Access Details: Free Access*

Publisher *Taylor & Francis*

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



International Journal of Environmental Analytical Chemistry

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713640455>

Umweltanalytische und Chemometrische Untersuchungen an Staubbiederschlägen

J. Einax^a; K. Danzer^a; M. Matherny^b

^a Chemische Fakultät der Friedrich-Schiller, Universität Jena, Jena, Germany ^b Hüttenmännische Fakultät der Technischen Hochschule Kosice, Kosice, CSFR

To cite this Article Einax, J. , Danzer, K. and Matherny, M.(1991) 'Umweltanalytische und Chemometrische Untersuchungen an Staubbiederschlägen', *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 44: 3, 185 — 196

To link to this Article: DOI: 10.1080/03067319108027550

URL: <http://dx.doi.org/10.1080/03067319108027550>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.informaworld.com/terms-and-conditions-of-access.pdf>

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

UMWELTANALYTISCHE UND CHEMOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN AN STAUBNIEDERSCHLÄGEN

J. EINAX, K. DANZER

Chemische Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 6900 Jena, Germany

und

M. MATHERNY

*Hüttenmännische Fakultät der Technischen Hochschule Kosice, 04385 Kosice,
CSFR*

(Received 28 March 1990; in final form 1 August 1990)

The results of elemental analyses show that information about seasonal trends and emission sources is obtainable only with some uncertainties because the variability of environmental data is naturally very high. The multivariate data analysis enables a comprehensive and causal interpretation of complex and intricate environmental data sets, and therefore the extraction of their latent information content. In every case the chemometrical interpretation of environmental data requires knowledges on the emission structure and the orographical situation in the investigated territory. On these conditions the application of methods of cluster analysis, multidimensional variance and discriminant analysis and factor analysis yields information about temporal alterations of immission situations, main pollution sources and their seasonal variations and trends, respectively.

KEY WORDS: Main, minor and trace elements, spectroscopical and electrochemical determination,

1 EINLEITUNG

Die Schadstoffbelastungen der Umweltmedien, insbesondere in den hoch industrialisierten Ländern, und die daraus resultierenden Belastungen des Menschen erfordern eine fundierte und problemangepaßte Überwachung und Kontrolle. Schadstoffgehalte in der Umwelt können auf Grund vielfältiger und komplexer Ursachen um Größenordnungen variieren. Die Anwendung univariat-statistischer Methoden ermöglicht oft nur eine sehr beschränkte Beschreibung der stark streuenden Orts- oder Zeitverläufe. Ziel dieser Arbeit ist es zu zeigen, daß die Anwendung moderner chemometrischer Verfahren, insbesondere multivariat-statistischer Methoden, es sowohl ermöglicht, funktionelle Zusammenhänge in der Umwelt zu beschreiben, als auch Verschmutzungsquellen zu identifizieren. Als konkreter Untersuchungsgegenstand werden die Analysendaten von Staubbiederschlägen, die im Raum von Kosice gesammelt wurden, herangezogen. Die chemometrischen Verfahren werden somit

angewendet, um zeitliche Verläufe staubförmiger Immissionen zu erfassen und Luftverschmutzer zu erkennen.

2 EXPERIMENTELLER TEIL

Neben der in der Routineüberwachung der Umwelt sehr aufwendigen Probenahme von Schwebstäuben ist es nach wie vor üblich, Proben von Staubbiederschlägen, d.h. sedimentierenden Stäuben, zur Charakterisierung der Belastung der Luft durch staubförmige Immissionen zu nehmen.

Für die konkreten Untersuchungen erfolgte die Probenahme der Staubbiederschläge mittels BERGERHOFF-Methode^{1,2} an einem Meßpunkt im Gelände der Technischen Hochschule Kosice (Bild 1) in einem Zeitraum von zweieinhalb Jahren.

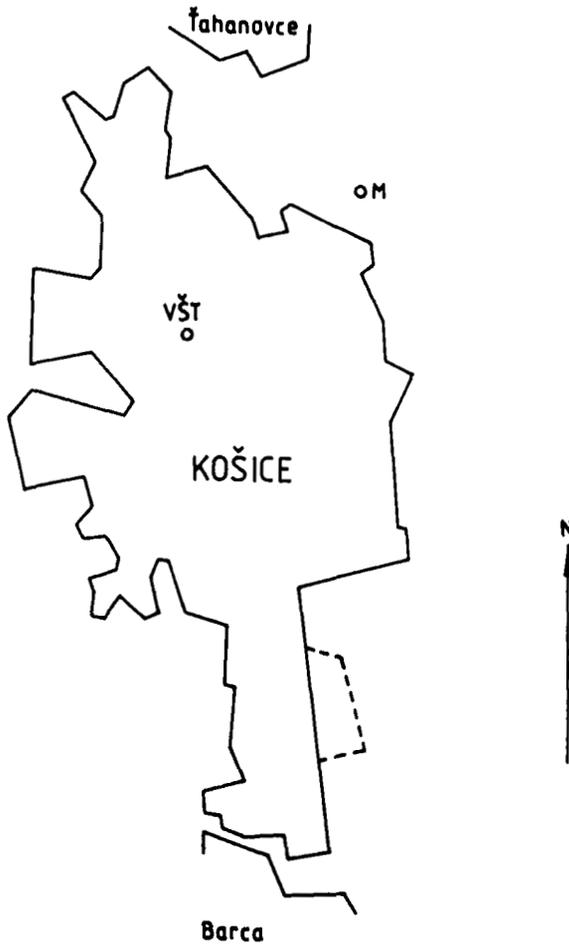


Bild 1 Lageskizze des Staubbiederschlags-Meßpunktes in Kosice VŠT—Meßpunkt, M—Magnesitwerk.

Die Probegefäße wurden jeweils dreißig Tage den herrschenden Immissionen exponiert. Der Gesamtstaubniederschlag wurde gravimetrisch bestimmt. Die quantitative Analyse erfolgte entsprechend den nachfolgend angeführten Analysemethoden.

Die Elemente Ba, Ca, K, Na und Sr wurden in der Acetylen-Luft-Flamme angeregt und emissionsspektroskopisch am Gerät AAS 1N (Carl Zeiss Jena) bestimmt.

Die relative Standardabweichung der Konzentrationsbestimmung betrug $\pm 2\%$. Alle gemessenen Konzentrationen lagen deutlich über der Erfassungsgrenze der genannten Elemente³. Die Konzentrationen der Hauptbestandteile der Staubbiederschläge (Al, Ca, Fe, Mg, Si) wurden röntgenfluoreszenzspektroskopisch bestimmt⁴. Die relative Standardabweichung der Konzentrationsbestimmung war kleiner als $\pm 3\%$. Außerdem wurde auch eine lösungsemissionsspektrochemische Methode⁵ zur Untersuchung herangezogen. Die Richtigkeit der analytischen Kalibration wurde gravimetrisch überprüft.

Die Konzentrationen der Neben- und Spurenelemente (Ag, B, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V und Zn) wurden emissionsspektrochemisch im Gleichstrombogen bestimmt⁶. Für die extrem niedrigen Gehalte wurde die Doppelbogenanregung angewendet⁷.

Tab. 1 Nachweisgrenzen und relative Standardabweichungen der angewendeten emissionsspektralanalytischen Methoden.

<i>Element</i>	<i>Nachweisgrenze in ppm</i>	<i>Relative Standardabweichung in %</i>
Al	—	3,0
Ag	0,005	16,5
B	0,1	8,5
Ba	0,05	2,0
Ca	—	1,0
Co	0,27	10,7
Cr	0,12	8,6
Cu	0,006	12,5
Fe	—	1,0
K	—	1,0
Mg	—	2,0
Mn	0,19	6,9
Mo	0,022	7,9
Na	—	2,0
Ni	0,09	7,8
Pb	0,7	18,5
Sb	0,25	9,5
Si	—	1,9
Sn	0,08	11,2
Sr	0,05	1,7
Ti	0,6	8,7
V	0,7	8,9
Zn	9,7	12,7
F	0,8	10,0
I	15,0	10,0
S	30,0	10,0

Für die Hauptelemente wurde die Nachweisgrenze nicht bestimmt.

Downloaded At: 16:32 30 January 2011

Die Nachweisgrenzen und Präzisionen der angewendeten emissionsspektralanalytischen Methoden^{6,7} sind in Tab. 1 angeführt. Die relativen Standardabweichungen der Konzentrationen liegen bei den Spurenelementen zwischen $\pm 4\%$ und $\pm 8\%$ und bei den Spurenelementen zwischen $\pm 7\%$ und $\pm 18\%$. Die gemessenen Elementkonzentrationen waren mit einigen Ausnahmen wiederum höher als die jeweilige Nachweisgrenze. Da die emissionsspektralanalytische Bestimmung der niedrigen Konzentrationen von Pb und Zn problematisch war, wurde zur Bestimmung der Gehalte dieser Elemente die von NÜRNBERG⁸ ausgearbeitete inversvoltammetrische Methode mit Erfolg angewendet. Im Mittel wurde im Konzentrationsbereich um $10^{-5}\%$ noch eine relative Präzision von $\pm 15\%$ erreicht. Zur Bestimmung der Konzentrationen der Elemente F, I und S wurden ionensensitive Elektroden genutzt³. Im Konzentrationsbereich $8.10^{-4}\%$ bis $3.10^{-1}\%$ wurde eine relative Präzision der Konzentrationsbereich von $\pm 10\%$ ermittelt.

3 ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

Von den ermittelten 27 Merkmalen (26 Elementniederschläge und Gesamtstaubniederschlag) wurden die Elemente Co, Mo und Sb gestrichen, da deren Werte teilweise unter der jeweiligen Nachweisgrenze lagen. Zur Auswertung wurden die Datensätze von 24 Elementgehalten (Spalten der Datenmatrix) in 27 Monatsproben (Zeilen der Datenmatrix) herangezogen. Als wesentliche meteorologische Einflußgrößen auf die Immission wurden die relativen Häufigkeiten der vier Hauptwindrichtungen in die multivariat-statistischen Berechnungen einbezogen.

3.1 Univariate Aussagen

Tab. 2 zeigt die erwartungsgemäß starken Schwankungen der analysierten Merkmale, dargestellt anhand der relativen Standardabweichung, dem minimalen und dem maximalen Wert. Die Schwankungen betragen im Untersuchungszeitraum von zweieinhalb Jahren im Mittel ein bis zwei Größenordnungen. Die zeitliche Darstellung der zwei Einzelmerkmale Gesamtstaubniederschlag und Strontium läßt auf Grund der hohen umweltbedingten Variabilität nur sehr unsichere saisonale Trends erkennen (Bild 2).

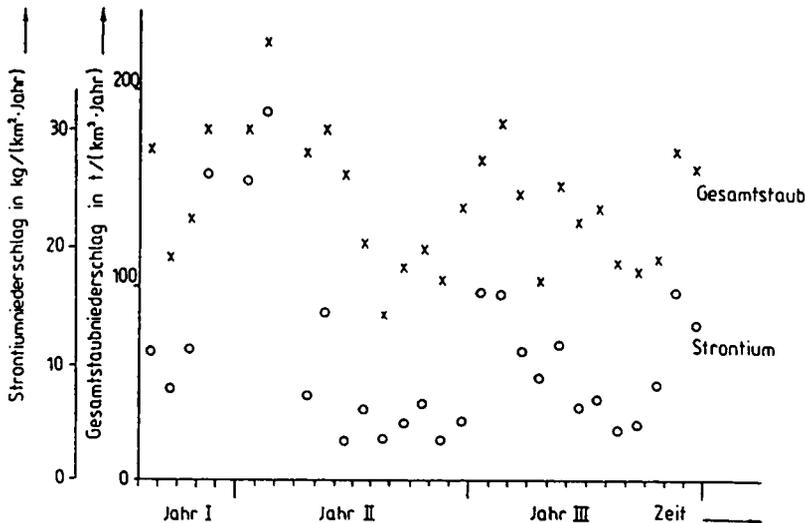
Der Vergleich der mittleren relativen Streuungen der gleichen Palette von Inhaltsstoffen von Werten aus Kosice und verschiedenen Städten aus der ehemaligen DDR⁹ (wegen der gleichen Probenahmetechnik und Analytik sind die Staubniederschlagswerte direkt vergleichbar) zeigt die größere Stabilität der Staubbmissionen auf Grund des in Kosice deutlicher ausgeprägten kontinentalen Klimas:

	<i>Relative Streuung</i>
Kosice	66,6%
Städte in der DDR	94,3%

Tab. 2 Mittelwerte, relative Standardabweichungen, minimale und maximale Werte der Inhaltsstoffe der Staubbiederschläge (Angaben in $\text{kg}/(\text{km}^2\cdot\text{Jahr})$).

Merkmal	Mittelwert	Relative Standardabweichung in %	Minimaler Wert	Maximaler Wert
GS ¹	142,13	23,35	84,5	223,3
Al	5269,26	34,90	2570	9770
Ag	1,410	242,34	0,02	14,8
B	11,067	99,82	3,1	51,4
Ba	370,53	47,09	185,9	790
Ca	2358,53	67,85	783,9	8040
Cr	15,089	37,56	6,9	32,2
Cu	35,452	67,74	7,5	92,5
Fe	12217,03	44,86	6260	27680
K	385,54	46,00	137,4	813,6
Mg	34126,29	28,89	17310	54230
Mn	162,95	55,10	56	430,8
Na	419,77	81,85	102,2	1310
Ni	9,241	49,52	3,7	22,7
Pb	63,711	72,69	24,1	242,8
Si	17968,14	41,98	9550	42940
Sn	4,867	84,28	0,7	12,5
Sr	10,80	69,01	3,4	31,3
Ti	504,08	53,02	122,5	1190
V	17,892	53,33	4,8	38,1
Zn	415,38	50,17	148	973,1
F	203,06	64,12	3	440,1
I	327,00	122,62	29,1	1650
S	5777,90	59,83	887,4	14370

¹ Gesamtstaubbiederschlag: Angaben in $\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{Jahr})$.

**Bild 2** Darstellung der Abhängigkeit des Gesamtstaubbiederschlags und des Strontiumniederschlags von der Zeit.

Weitere univariate Aussagen können wegen der Meßwertstreuung nicht getroffen werden.

3.2 Clusteranalyse

Methoden der Clusteranalyse ermöglichen es, in komplexen und unübersichtlichen Datenmengen im voraus nicht bekannte Datenstrukturen aufzudecken¹⁰. Bezüglich der Vielzahl der vorhandenen mathematischen Algorithmen zur Clusteranalyse sei auf die entsprechende Literatur^{10,11} verwiesen.

Die nachfolgend diskutierte Clusteranalyse wurde nach dem Algorithmus von WARD durchgeführt. Dieser Algorithmus hat sich bei der Anwendung in der Datenanalyse als vorteilhaft erwiesen¹². Unter Einbeziehung aller ermittelten Merkmale, d.h. sowohl der Elementniederschläge als auch der meteorologischen Parameter, erhält man das in Bild 3 als Dendrogramm dargestellte Verhältnis der multivariaten Ähnlichkeiten der einzelnen Meßmonate. Die Monate mit starker Immissionsbelastung durch die Heizung werden deutlich separiert von den Monaten mit nur geringem Heizungseinfluß. Auf Grund der zu dieser Zeit herrschenden, im Unterschied zu den anderen Untersuchungsjahren relativ höheren Temperaturen

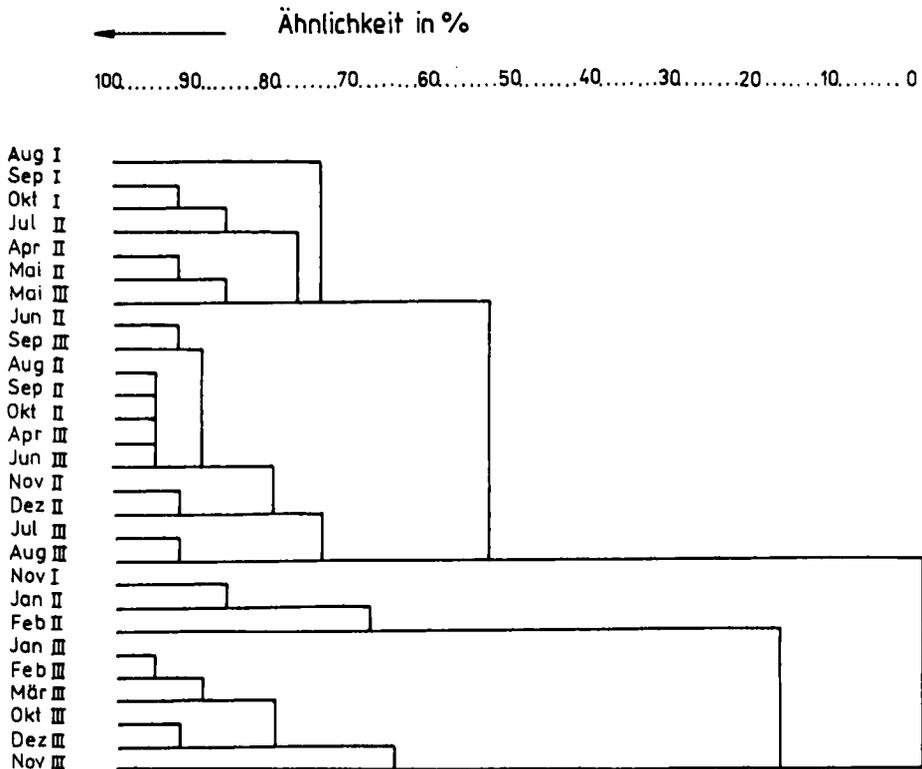


Bild 3 Dendrogramm der Clusteranalyse nach WARD.

werden die Monate November und Dezember 1979 in das Cluster der nicht bzw. wenig durch Heizungsemissionen beeinflussten Zeit eingeordnet. Man vergleiche mit der analogen Aussage der Ergebnisse der Faktorenanalyse (Pkt.3.4).

3.3 Mehrdimensionale Varianz- und Diskriminanzanalyse

Da die Ergebnisse von Clusteranalysen keine statistischen Angaben über die Güte der Trennung der Cluster beinhalten, erweist es sich als sinnvoll, die mehrdimensionale Varianz- und Diskriminanzanalyse als Klassifikationsverfahren zur Überprüfung der Clusterung einzusetzen.

Das Ziel der mehrdimensionalen Varianz- und Diskriminanzanalyse ist es, a-priori-Klassen multivariater Datensätze optimal zu trennen. Die mathematischen Grundlagen sind beispielsweise in¹³ ausführlich beschrieben. Die als Trennkriterium herangezogene optimale Trennmenge beinhaltet in aller Regel eine verminderte Merkmalszahl, d.h. redundante Merkmale werden eliminiert. Aus den relevanten Merkmalen werden mittels Linearkombination die nichtelementaren Diskriminanzmerkmale gebildet, auf deren Grundlage Objekte mit vorgegebenen Wahrscheinlichkeiten klassifiziert bzw. reklassifiziert werden können.

Um das in Pkt. 3.2 gefundene Zwei-Klassen-Modell (Monate mit und ohne heizungsbedingte Immissionen) einer mehrdimensionalen Varianz- und Diskriminanzanalyse unterziehen zu können, ist es erforderlich, die Struktur des Originaldatensatzes so zu verändern, daß die im Verlauf der mehrdimensionalen Varianz- und Diskriminanzanalyse erforderliche Matrixinversion möglich ist, d.h. es muß sein:

$$\text{Zahl der Objekte} > \text{Zahl der Merkmale}$$

Dazu werden 16 Elementniederschläge und die vier Windrichtungen ausgewählt. Die ausgewählten Elementniederschläge besitzen im Ergebnis der Faktorenanalyse (Pkt. 3.4) sämtlich hohe Faktorladungen, d.h. sie bestimmen einen großen Teil der Varianz-Kovarianz des Datenraums.

Die mehrdimensionale Varianz- und Diskriminanzanalyse der auf der Basis der Ergebnisse der Clusteranalyse vorbereiteten Datenmatrix ergibt eine nichtelementare Diskriminanzfunktion mit der optimalen Trennmenge Silicium, Nickel und Eisen. Das Diskriminationsresultat lautet:

	zugeordnete Klasse	
	A	B
vorgegebene A (mit geringem Klasse Heizungseinfluß)	16	2
B (mit starkem Heizungseinfluß)	1	8

Der Fehler der Diskrimination beträgt 11,1%; demgegenüber liegt der Fehler der zufällig richtigen Reklassifikation bei 44,4%.

Das Ergebnis der mehrdimensionalen Varianz- und Diskriminanzanalyse bestätigt die Aussagen der Clusteranalyse.

3.4 Faktorenanalyse

Das Ziel der Faktorenanalyse besteht in der Aufdeckung latenter Zusammenhänge zwischen Merkmalen, die eine Anzahl von Objekten beschreiben. Die Merkmale werden zu linear unabhängigen, hypothetischen Faktoren zusammengefaßt, die die Objekte ähnlich gut beschreiben wie die Originalmerkmale, wobei das Modell der reduzierten Faktorenlösung zugrunde gelegt wird. Durch die sich ergebende Dimensionserniedrigung ist es in übersichtlicher Art und Weise möglich, die Objekte durch ihre hauptsächlichsten Einflußfaktoren darzustellen und so zu charakterisieren. Bezüglich des mathematischen Algorithmus der Faktorenanalyse sei auf die entsprechende Literatur^{14,15} verwiesen.

Als Ausgangspunkt der Faktorenanalyse dient die Matrix der Korrelationskoeffizienten der Merkmale des Staubdatensatzes. In der ersten Phase der Faktorenanalyse werden fünf gemeinsame Faktoren extrahiert. Die erhaltene Ladungsmatrix wird, um das Ergebnis besser interpretierbar zu gestalten, einer VARIMAX-Rotation zur Herstellung der THURSTONEschen Einfachstruktur unterworfen. Die orthogonalrotierte Faktorladungsmatrix einschließlich der Kommunalitäten der Merkmale ist in Tab. 3 dargestellt. Die gemeinsame faktorenanalytische Lösung beschreibt 91,8% der Varianz des Datensatzes. Da Iod, Silber und die West-Windrichtung nur geringe Kommunalitäten besitzen, d.h. überwiegend durch merkmalseigene Varianzen bestimmt sind, finden diese Merkmale keine Berücksichtigung bei der folgenden Auswertung.

Eine Interpretation der gewichtigsten vier Faktoren ist wie folgt möglich:

Faktor 1 Einflüsse der kommunalen und industriellen Heizung, insbesondere durch Verbrennung salz- und schwefelhaltiger Braunkohlen im Stadtgebiet von Kosice

Faktor 2 aufgewirbeltes pedogenes Material (große Varianzanteile für die wesentlichsten pedogenen Elemente Silicium und Titanium) und wiederaufgewirbelter Sekundärstaub (charakterisiert durch Blei, das infolge verkehrsbedingter Emissionen in den Bodenschichten angereichert wird¹⁶)

Faktor 3 Nord-Süd-Windfaktor (stark ausgeprägt wegen der Nord-Süd-Tallage von Kosice), kein nachweisbarer Zusammenhang mit Elementniederschlägen, da weder im Norden, noch im Süden des Meßpunktes wesentliche Emissionsquellen existieren

Faktor 4 —bevorzugt verursacht durch Emissionen des Magnesitwerkes
—bereits von geringem Gewicht (10,8% der Gesamtvarianz), d.h. keine starke Immissionserhöhung am Meßpunkt

—positiver Zusammenhang mit Ost-Windrichtung entsprechend der Lage des Magnesit-Werks (Bild 1)

Im abschließenden Teil der Faktorenanalyse erfolgt die Berechnung der Faktor-

Tab. 3 Matrix der Faktorladungen der gemeinsamen faktor analytischen Lösung von Staubbiederschlagsproben aus Kosice (Faktorladungen $\leq 0,450$ werden zur übersichtlicheren Darstellung gleich Null gesetzt.)

Faktor Merkmal	1	2	3	4	5	Kommunalität h_i^2
GS	0,871	0	0	0	0	0,872
Al	0	0	0	0,762	0	0,666
Ag	0	0	0	0	0	0,239
B	0	0	0	0	0,754	0,840
Ba	0	0	0	0,717	0	0,770
Ca	0,837	0	0	0	0	0,739
Cr	0	0	0	0	0,805	0,730
Cu	0	0	0	0,618	0,504	0,665
Fe	0	0	0	0,719	0	0,637
K	0,780	0	0	0	0,573	0,950
Mg	0,629	0	0	0	0	0,666
Mn	0,766	0	0	0	0	0,688
Na	0,718	0	0	0	0	0,866
Ni	0,732	0	0	0	0	0,762
Pb	0	0,700	0	0	0	0,551
Si	0	0,877	0	0	0	0,959
Sn	0	0	0	-0,559	0	0,590
Sr	0,912	0	0	0	0	0,883
Ti	0	0,609	0	0,607	0	0,796
V	0,592	0	0	0,525	0	0,674
Zn	0	0	0	0,734	0	0,832
F	0	0	0	0,652	0	0,629
I	0	0	0	0	0	0,158
S	0,780	0	0	0	0	0,709
Nordwind	0	0	0,960	0	0	0,946
Ostwind	0	0	0	0,450	0	0,479
Westwind	0	0	0	0	0	0,281
Südwind	0	0	-0,958	0	0	0,943
Eigenwert	7,516	5,174	2,540	2,288	2,005	

werte mittels einer, als BARTLETT-Schätzung bezeichneten, multiplen linearen Regression. Die graphische Darstellung der Faktorwerte als Funktion der Zeit (Bild 4) zeigt für die Faktoren 1 und 2 ausgeprägte Jahrgänge mit deutlichen Wintermaxima und Sommerminima. Die Wintermaxima sind für Faktor 1 durch die Heizungseinflüsse und für Faktor 2 durch den erhöhten Anteil aufgewirbelten pedogenen Materials in den relativ niederschlagsarmen Winter- und Frühlingsmonaten zu erklären. Die Winterperiode I/II unterscheidet sich, wie schon im Pkt. 3.2 dargestellt, auf Grund der höheren durchschnittlichen Temperaturen und der geringeren Niederschlagsmengen bezüglich der Amplitude der Faktorwerte von den anderen Heizperioden.

Die Werte des Faktors 4 deuten auf eine Erhöhung der Immissionsbelastung am Meßort durch die Emissionen des Magnesitwerks hin. Die Prüfung dieser Faktorwerte mittels Cusum-Technik¹⁷ weist einen signifikant positiven Trend aus.

Der Jahrgang der Immission durch sedimentierende Stäube wird noch deutlicher, wenn die Daten eines Jahres (August des Untersuchungsjahres I bis August des

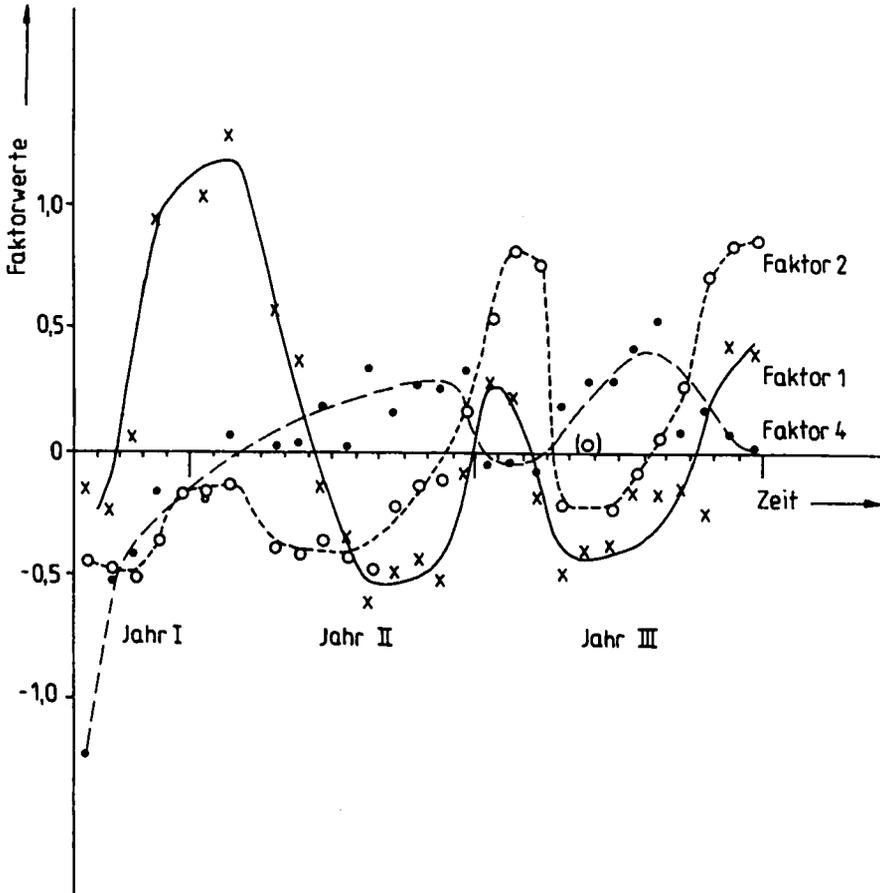


Bild 4 Darstellung der Abhängigkeit der Faktorwerte von der Zeit.

Untersuchungsjahres II) einer Faktorenanalyse unterworfen werden. In Bild 5 sind die Werte des Faktors 2 als Funktion der Werte des Faktors 1 dargestellt. Die Faktoren entsprechen in ihrer Bedeutung den Faktoren der Gesamtanalyse, jedoch sind die Werte des Faktors 1 im Unterschied zu denen der Gesamtanalyse mit umgekehrtem Vorzeichen versehen. Der Jahreszyklus der Immission ist klar zu erkennen.

Die Ergebnisse der Faktorenanalyse nur eines Teils der Gesamtdatenmatrix zeigen, daß es auch bei Nichteinhaltung der HORSTschen Regel¹⁴, wonach die Zahl der Objekte mindestens das Dreifache der Zahl der Merkmale betragen sollte, möglich ist, interpretierbare Lösungen zu erhalten.

Diese Aussage ist für umweltanalytische Fragestellungen von Bedeutung, da es aus objektiven Gründen (Zeitdauer der Probenahme, experimenteller Aufwand usw.) oft nicht möglich ist, die o.g. anzustrebende Datenstruktur zu erreichen.

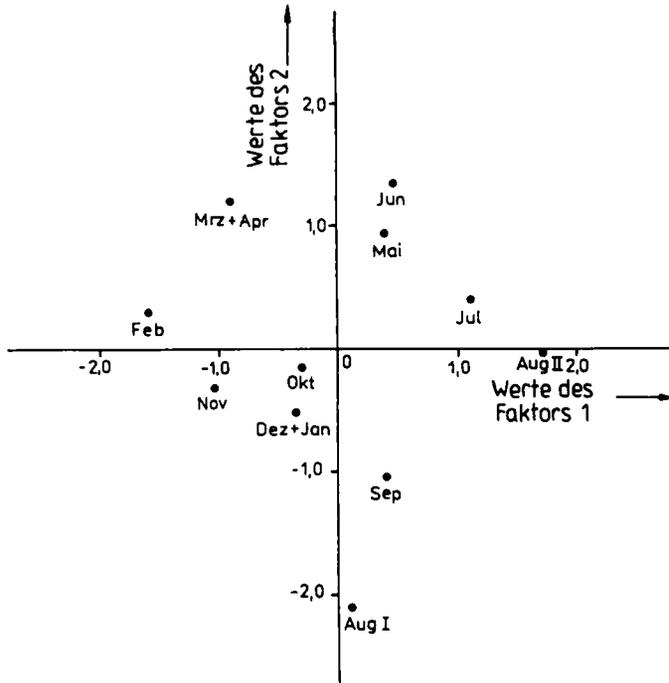


Bild 5 Darstellung der Werte des Faktors 2 gegen die Werte des Faktors 1 eines Untersuchungsjahres.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse der Elementanalysen von Staubbiederschlägen zeigen, daß auf Grund großer umweltbedingter Variabilitäten nur sehr unsichere saisonale Trends und Hinweise auf mögliche Emissionsquellen zu erkennen sind. Die multivariat-statistische Datenanalyse ermöglicht die übersichtliche und kausal erklärbare Darstellung der komplexen und unübersichtlichen Umweltdaten, d.h. deren latenter Informationsgehalt wird erkennbar. Die sachbezogene Interpretation der chemometrischen Ergebnisse erfordert in jedem Fall Kenntnisse über die Emissionsstruktur und die orographischen Bedingungen im untersuchten Territorium.

Unter Berücksichtigung der genannten Bedingung ermöglicht es die Anwendung von Methoden der Clusteranalyse, der mehrdimensionalen Varianz- und Diskriminanzanalyse und der Faktorenanalyse, Aussagen zu treffen über zeitliche Änderungen von Immissionsstrukturen, über mögliche Hauptbelastungsquellen und deren saisonale Variation bzw. Entwicklungstrends.

Literatur

1. Arbeitsmappe der Staatlichen Hygieneinspektion—Teil Lufthygiene: Immissionsmessung: Bestimmung des Staubbiederschlages (Sedimentationsstaub) in der atmosphärischen Luft, überarbeitete Fassung, Kap.-Nr. 9, Lfd. Nr. 2, Staatsverlag der DDR, Berlin, 1984.

2. VDI 2119 B1. 2: Messung partikelförmiger Niederschläge: Bestimmung des partikelförmigen Niederschlags mit dem BERGERHOFF-Gerät (Standardverfahren), Hrsg.: VDI Kommission Reinhaltung der Luft, Juni 1972.
3. M. Matherny und H. Nickel, Euroanalysis V, Cracow 1984, Book of abstracts, 313.
4. M. Matherny, XVIIIth Colloq. Spectroscop. Internat., Grenoble 1975, Vol. I, 289.
5. M. Matherny und M. Ondasova, *Acta Chim. (Budapest)* **107** 119 (1981).
6. K. Florian und N. Pliesova, *Acta Chim. (Budapest)* **103** 301 (1980).
7. M. Matherny, *Spectrochim. Acta*, **39 B** 1439 (1984).
8. H. W. Nürnberg *et al.*, *Z. Anal. Chem.* **282** 357 (1976).
9. J. Einax und K. Danzer, Staub-Reinhalt. Luft **49**, 53 (1989).
10. K. Varmuza, Pattern recognition in chemistry, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980.
11. A. Henrion, R. Henrion, P. Urban und G. Henrion, *Z. Chem.* **27** 56 (1987).
12. M. P. Derde und D. L. Massart, *Z. Anal. Chem.* **313** 484 (1982).
13. H. Ahrens und J. Läuter, Mehrdimensionale Varianzanalyse, 2. Aufl., Akademie-Verlag, Berlin, 1981.
14. E. Weber, Einführung in die biologische Statistik, 9. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena, 1986.
15. E. R. Malinowski und D. G. Howery, Factor analysis in chemistry, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 1980.
16. U. Ewers, H.-W. Schlipköter in Merian, E. (Hrsg.): Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie, Weinheim, Deerfield Beach/Florida, Basel, 1984, S. 351 ff.
17. K. Doerffel, *Wiss. Z. TH Leuna-Merseburg* **32**, 66 (1990).