

MODELLVORSTELLUNGEN ZUR RÄUMLICHEN VERTEILUNG
VON SPURENMETALLVERUNREINIGUNGEN IN DER BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND, ANGEZEIGT DURCH DEN METALLGEHALT
IN EPIPHYTISCHEN MOOSEN*)

Mit 7 Abbildungen und 6 Tabellen

REIMER HERRMANN

Summary: Model presentation concerning the spatial distribution of trace element pollution in the Federal Republic of Germany as indicated by metal content in epiphytic mosses.

Samples of the epiphytic moss *Hypnum cupressiforme* L. ssp. *filiforme* Brid. were gathered at the regularly distributed nodes of two grids laid randomly over the Federal Republic of Germany. The concentrations of Be, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in the organic material were determined by atomic absorption spectrophotometry. Maps showing the regional variation of these trace metal concentrations, as well as their interconnections disclosed by a principal component analysis, reveal high intercorrelations of Cd, Cu, Pb and Zn whereas Ni and Be behave each in a different manner. A multidimensional discriminant analysis shows that the regional distribution of the trace metals may be explained by the distance to the next nonferrous metal smelter and variables which describe the economic structure.

From maps showing the regional variation of a single trace metal and from a map prepared by a cluster analysis, which serves too to distinguish between typical groups of trace metal combinations, it can be seen that the highest trace metal deposits occur in the industrial area of Rhine and Ruhr and the northern Harz mountains, whereas the lowest occur in Lower Bavaria and parts of northern Germany.

I. Aufgabenstellung

Ziel der Untersuchung war es, die räumliche Verbreitung von Spurenmetallablagerungen, angezeigt durch den Gehalt an Spurenmetallen in *Hypnum cupressiforme* L. ssp. *filiforme* Brid. (im folgenden kurz *Hypnum* genannt), in der Bundesrepublik Deutschland zu kartieren und über die Ursachen der Verbreitungsweise Modellvorstellungen zu entwickeln. Die Spurenmetalle können je nach Konzentration das Wachstum von Organismen mehr oder weniger hemmen oder tödlich wirken. Dabei ist weiter von Bedeutung, in welcher Kombination zueinander die Spurenmetalle vorkommen, ob sie also synergetisch (z. B. Cu – Ni) oder antagonistisch zusammenwirken (z. B. Cd – Zn).

Die Brauchbarkeit von epiphytisch wachsenden Moosen als Speicher von Spurenmetallen und die daraus erwachsende Möglichkeit, die Konzentration der Spurenmetalle im organischen Material als ein relatives Maß für die Umweltbelastung durch diese Metalle anzusehen, ist in verschiedenen Arbeiten nachgewiesen worden (s. weiter unten).

Eine selektive Einwaschung von Spurenmetallen vom Laub der Eichen erscheint wenig wahrscheinlich, da die Korrelation zwischen den Spurenmetallgehalten in *Sphagnum* ssp. und *Hypnum* benachbarter Meßpunkte vergleichsweise hoch ist: Cu: $r = 0,86$, Pb: $r = 0,70$, Zn: $r = 0,98$ und Cd: $r = 0,84$ (für alle Korrelationen: $\alpha_g < 0,05$).

Bei auf dem Boden wachsenden Moosen weisen Ä. RÜHLING und G. TYLER (1970: 92–97), K. CZARNOWSKA und I. REJMENT-GROCHOWSKA (1974: 39–44) und J. HUCKABEE und S. JANZEN (1975: 55–60) nach, daß die Aufnahme der Spurenmetalle allein über die Niederschläge und den eingetragenen Staub erfolgt, nicht aber aus den Böden. Daraus ist weiter zu folgern, daß auch die Aufnahme von Spurenmetallen durch das epiphytisch wachsende Moos *Hypnum* nur über den Eintrag aus der Atmosphäre erfolgt. Da nur epiphytisch wachsende Moospflanzen auf *Quercus robur* L. für die Untersuchung ausgewählt wurden, kann um so mehr wegen vergleichbarem pH der Rinde und Wasserhaushalt auf der Unterlage eine Aussage über die relative Spurenmetallkonzentration in Abhängigkeit von Umweltfaktoren gemacht werden. Dabei kann unterschiedlicher Einfluß von Böden ausgeschlossen werden.

Klein- und großmaßstäbige Untersuchungen über die räumlichen Unterschiede der Spurenmetallkonzentrationen in Moosen liegen bereits vor (Ä. RÜHLING und G. TYLER [1968: 321–342] und [1973: 445–455], J. HUCKABEE [1973: 749–759], F. LE BLANC et al. [1974: 405–433], J. LOUNAMAA [1956], D. YEAPLE [1972: 229–230] und G. TYLER [1970: 129–132]). Ähnliche Untersuchungen jedoch mit dem auch in der vorliegenden Arbeit untersuchten epiphytischen Moos *Hypnum* wurden im südwestlichen Wales (B. GOODMAN und T. ROBERTS [1971: 287–292]) und in Skandinavien (Ä. RÜHLING und G. TYLER [1969: 248–259] und [1971: 497–504]) durchgeführt, wobei letztere

*) Die Untersuchung wurde durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht, wofür ich mich sehr bedanke.

den Nachweis eines räumlichen Trends erbringen und die Abhängigkeit der Spurenmetallkonzentration von den Niederschlägen aufzeigen.

II. Untersuchungsmethoden

1. Probennahme

Die Probennahmestellen lagen in den Knotenpunkten von zwei gleichförmig zufällig über das Untersuchungsgebiet gelegten Netzen (s. z. B. Abb. 1). Das norddeutsche Netz – etwa bis zur Mainlinie reichend – hat einen Knotenabstand von 52 km, das süddeutsche in E-W-Richtung von 104 km und in N-S-Richtung von 52 km. Die Probennahmestellen wurden in dieser Form ausgewählt, um multivariate statistische Verfahren bei der Datenauswertung anwenden zu können.

Zur Bedingung wurde für jede Probennahmestelle gemacht, daß sie > 250 m von jeder Straße entfernt lag, um kleinräumig wirksame Einflüsse der Kfz-Abgase ausschalten zu können. Untersuchungen von K.-F. WENTZEL (1960: 71), H. CANNON u. J. BOWLES (1962: 765–766), W. ERNST (1972: 298) und B. FIDORA (1972: 219–227) zeigen, daß etwa bis 250 m die Spurenmetallanreicherungen in Pflanzen stark abnehmen, um dann einen unveränderlichen Wert anzunehmen. Neben den durch diese Bedingung bewirkten kleinen Abweichungen vom vorgegebenen Netz wurden z. T. größere notwendig, weil die ökologischen Bedingungen für ein Wachstum von *Hypnum* nicht erfüllt waren, weil keine Stiel-Eichen vorkamen und weil durch vermutlich zu hohe Schwefeldioxid- und Stickoxydkonzentrationen in der Luft eine Vermehrung von *Hypnum* nicht mehr möglich war. Die Probennahme erfolgte von Mitte Juli bis Mitte Oktober 1975.

In den Kartodiagrammen (Abb. 1–7) sind die Diagrammfiguren in den Knotenpunkten eingetragen; bei Abweichungen wurde das wahre Zentrum lagerichtig angedeutet.

2. Laboruntersuchungen

Alle Moosproben wurden so behandelt, daß sie mit Metallen nicht in Berührung kamen. Es wurde von jedem Moospflänzchen jeweils ein lebender oberer 1 cm langer Teil untersucht. Die Moose wurden nicht gewaschen, da nach G. GOODMANN und T. ROBERTS (1971: 289) keine signifikante Menge von Spurenmetallen abgespült werden kann.

Das anorganische Material wurde bei 40 °C getrocknet, und anschließend wurden jeweils 0,2–0,6 g in einem Kjeldahl-Kolben mit 10 ml eines Gemisches von H_2SO_4 ($\rho = 1,84 \text{ g cm}^{-3}$), HNO_3 ($\rho = 1,42 \text{ g cm}^{-3}$) und HClO_4 (72%) im Verhältnis 1:5:1 naß verascht. Der Spurenmetallgehalt der Lösung wurde mit Hilfe eines Atomabsorptionsspektrophotometers PYE-UNICAM SP 190 bestimmt. Für die eine Hälfte der Pro-

ben wurden drei, für die andere zwei Parallelen bestimmt.

III. Die räumliche Änderung der Spurenmetallablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland

1. Die Deutung der Kartodiagramme der Spurenmetallgehalte in *Hypnum* (s. Abb. 1–6)

a) Beryllium (s. Abb. 1)

Eine gedrängte Übersicht der Einwirkungen der Spurenmetalle auf die Gesundheit des Menschen vermittelt R. MASTERS (1971: 97–130). Ferner untersucht G. TYLER (1972: 52–59) den Einfluß auf die Produktivität der Organismen.

Das Metall und seine anorganischen Verbindungen finden zunehmenden Gebrauch in der Industrie in Form von Legierungen, in Atomreaktoren und für militärische Zwecke. Noch liegt der Verbrauch von Be in der Bundesrepublik unter 2 t a^{-1} . Dieser vergleichsweise geringe Verbrauch und die damit geringen Ablagerungen sowie die vielseitige Verwendung sind offensichtlich der Grund für die geringste räumliche Varianz aller untersuchten Metalle, die sich auch in dem niedrigen relativen Varianzkoeffizienten $s^2\bar{x}^{-1} = 0,67 \mu\text{g g}^{-1}$ ausdrückt.

Erheblich höhere Berylliumkonzentrationen als der Mittelwert $\bar{x} = 1,2 \mu\text{g g}^{-1}$ zeigen das Rheinisch-Westfälische Industriegebiet (hier liegt das Maximum mit $x_a = 6,9 \mu\text{g g}^{-1}$), das Saargebiet, das Fichtelgebirge mit Teilen des Bayerischen Waldes, Teile Südhessens und Teile des nordwürttemberger Industriegebietes. Das übrige Süddeutschland, wo niedrige Werte bis $x_i = 0,1 \mu\text{g g}^{-1}$ vorkommen, und das westliche Niedersachsen weisen dagegen unterdurchschnittliche Berylliumablagerungen auf.

b) Kadmium (s. Abb. 2)

Kadmium wird überwiegend in der chemischen Industrie, ferner für Akkumulatoren und für Legierungen gebraucht.

Die höchsten Abweichungen vom Mittelwert $\bar{x} = 2,02 \mu\text{g g}^{-1}$ finden sich mit maximalem Wert von $x_a = 20,5 \mu\text{g g}^{-1}$ im Nordharz und im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet. Sehr geringe Werte der Kadmiumablagerungen zeigen vor allem Teile Nieder- und Oberbayerns mit Werten $x < 1 \mu\text{g g}^{-1}$. Die relative Varianz von Cd ist mit $s^2\bar{x}^{-1} = 2,1 \mu\text{g g}^{-1}$ noch gering und nur größer als die von Be.

c) Kupfer, Blei und Zink (s. Abb. 3, 4 und 5)

Den größten Teil des Kupfers benötigt die Halbzugfertigung, geringere Anteile werden für Legierungen, für Metallpulver und in Gießereien sowie in der Eisen- und Stahlindustrie verbraucht.

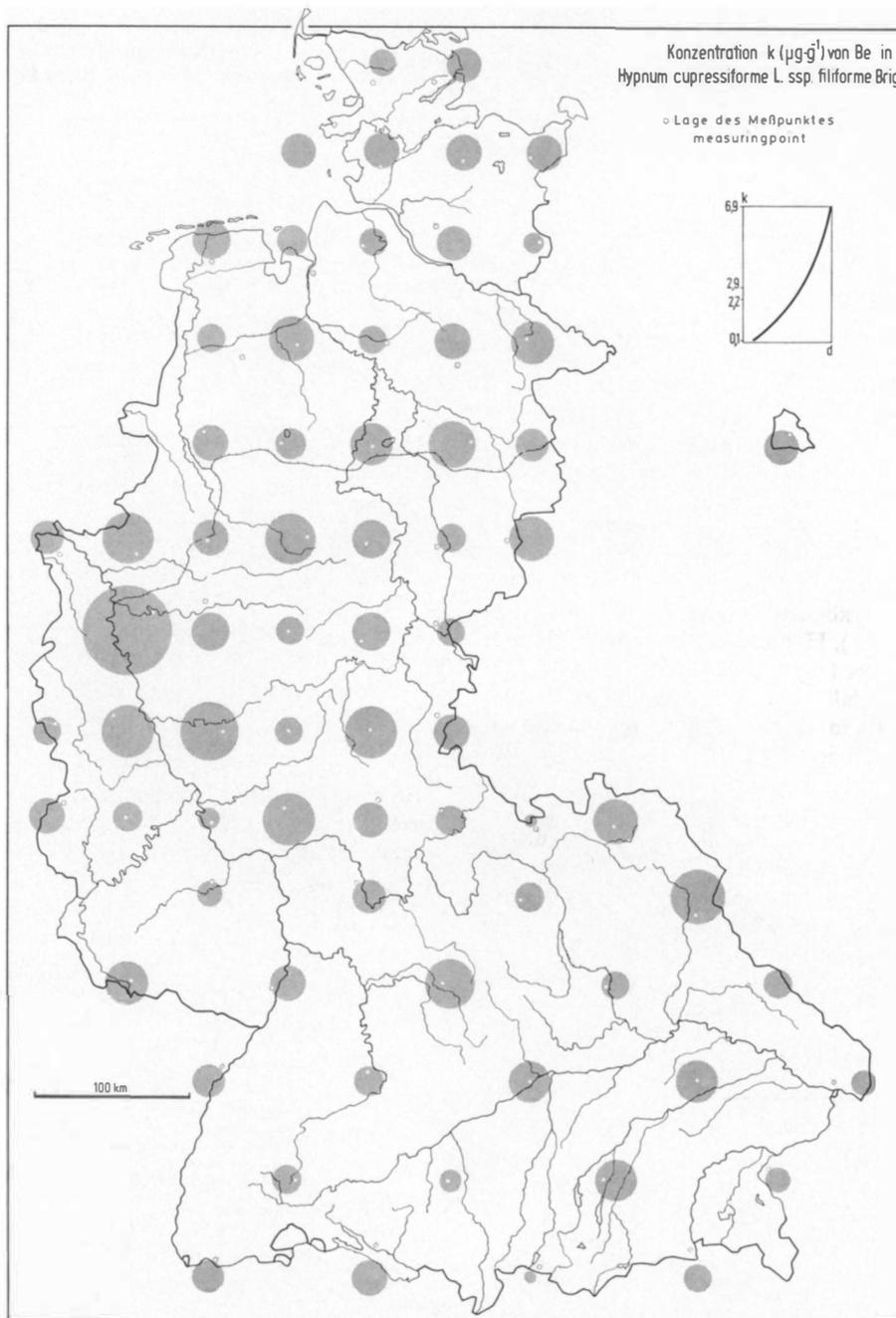


Abb. 1

Blei findet bei der Benzinveredelung, in der Akkumulatorenfertigung, in der chemischen Industrie, in der Halbzeugfertigung und in der Oberflächenveredelung in dieser Reihenfolge seine Hauptanwendung.

Zink wird vor allem für die Oberflächenveredelung, für Halbzeuge und für Legierungen verbraucht.

Die Art und Weise des Verbrauchs dieser drei Metalle führt zu ähnlichen räumlichen Verteilungsmustern

der Cu-, Pb- und Zn-Ablagerungen: Das Rheinisch-Westfälische Industriegebiet und der Nordharz zeigen hohe Gehalte dieser Spurenmetalle in *Hypnum*, die weit über den Mittelwerten von Cu : $\bar{x} = 26,4 \mu\text{g g}^{-1}$, Pb : $x = 90,6 \mu\text{g g}^{-1}$ und Zn : $x = 242 \mu\text{g g}^{-1}$ liegen. Die höchsten Werte finden sich im Nordharz für Cu : $x_a = 156 \mu\text{g g}^{-1}$, Pb : $x_a = 473 \mu\text{g g}^{-1}$ und für Zn : $x_a = 1350 \mu\text{g g}^{-1}$. Diese hohen Belastungen des Nord-

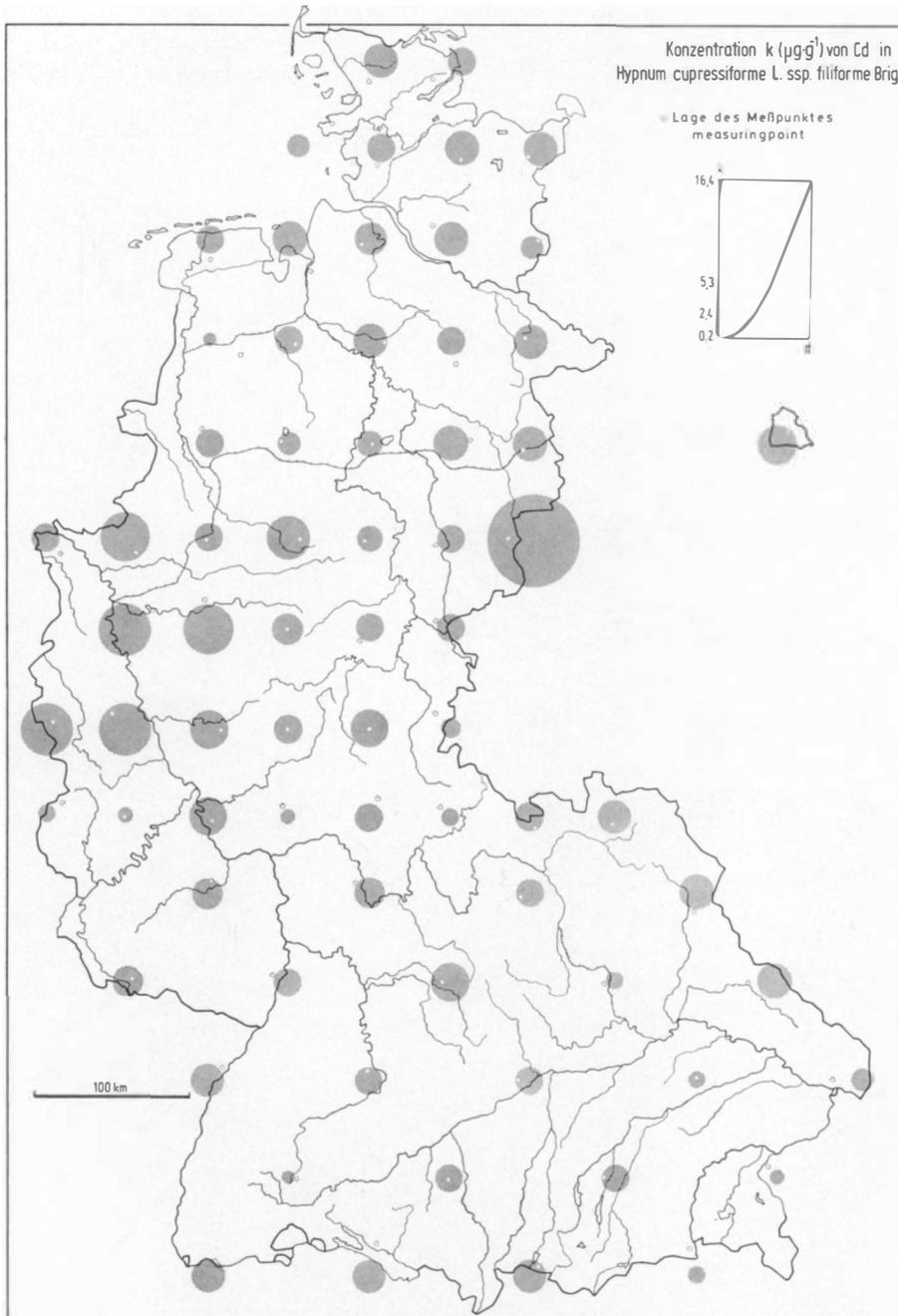


Abb. 2

harzes können erklärt werden mit der Lage von Buntmetallhütten und buntmetallverarbeitenden Betrieben vor den Talausgängen, in die bei Inversionswetterlagen spurenmittelbeladene Luft gedrückt wird. Erhöhte Zinkbelastungen treten ferner im Bereich Bayerischer Wald – Fichtelgebirge auf.

Sehr niedrige Belastungen dieser drei genannten Metalle kennzeichnen vor allem Nieder- und Oberbayern. Die räumliche Varianz, ausgedrückt durch $s^2\bar{x}^{-1}$, steigt von Cu : $s^2\bar{x}^{-1} = 17,8 \mu\text{g g}^{-1}$ über Pb : $s^2\bar{x}^{-1} = 98,3 \mu\text{g g}^{-1}$ auf den höchsten Wert Zn : $s^2\bar{x}^{-1} = 42300 \mu\text{g g}^{-1}$.

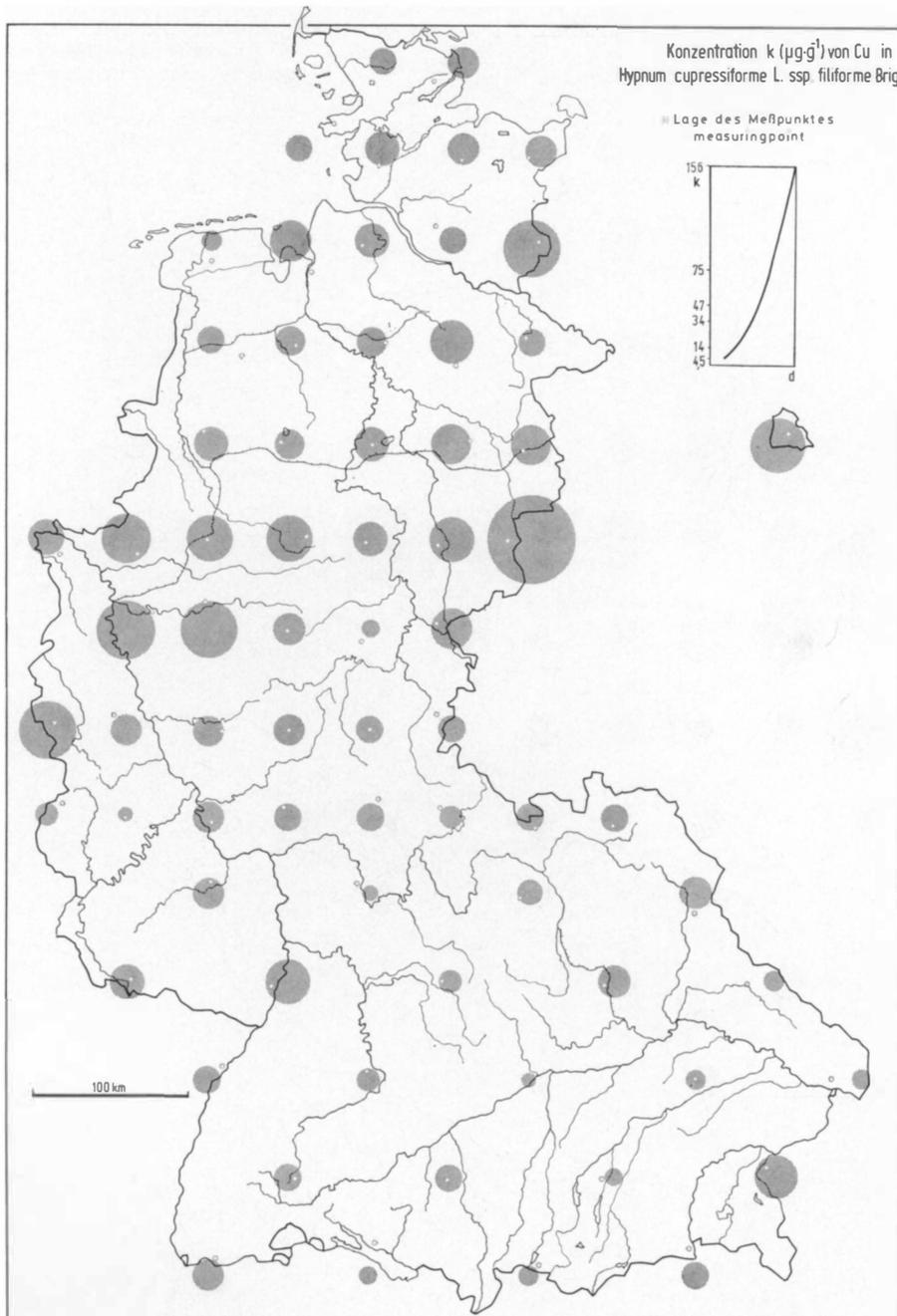


Abb. 3

d) Nickel (s. Abb. 6)

Eine wichtige Quelle der Nickelablagerungen sind die Verbrennungsrückstände von Heizöl, Dieselöl und Kohle. Weitere Emittenten sind Ölraffinerien und Stahlveredler. Die räumliche Verteilung der Nickelablagerungen ist ein Abbild der räumlichen Verteilung

der wesentlichen Nিকেlemittenten: Hohe Gehalte an Ni in *Hypnum* kommen in den Industriegebieten an Rhein und Ruhr sowie im Saarland vor. Während der Mittelwert $\bar{x} = 15 \mu\text{g g}^{-1}$ beträgt, treten hier Werte bis $x_a = 87 \mu\text{g g}^{-1}$ auf. Die niedrigen Ablagerungen von $x_i = 2\text{--}10 \mu\text{g g}^{-1}$ in Nordwestdeutschland und in Nieder- und Oberbayern können mit der geringen

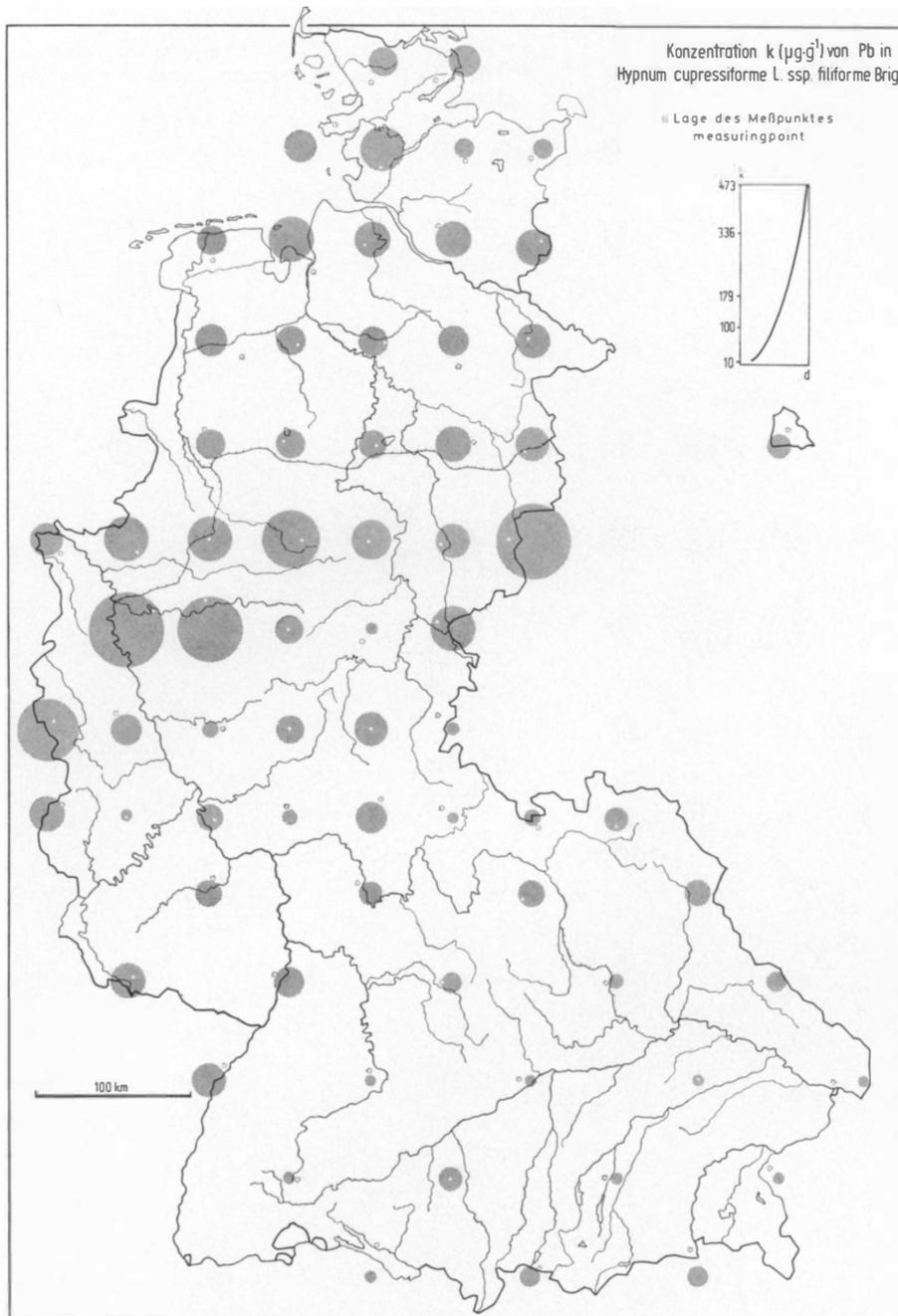


Abb. 4

Dichte von Niclemittenten erklärt werden. Die räumliche Varianz ist vergleichsweise gering $s^2\bar{x}^{-1} = 15 \mu\text{g g}^{-1}$.

2. Einschränkung

Aufgrund des weitständigen Meßstellennetzes können die Gehalte an Spurenelementen eines Meßpunktes

nicht unbedingt auf die von diesem Meßpunkt vertretene Fläche übertragen werden. Es wurden daher keine Linien gleicher Spurenmetallgehalte in *Hypnum* gezeichnet.

Im allgemeinen weisen jedoch die Räume mit geringer industrieller Wirtschaft auch die geringsten Spurenmetallablagerungen auf.

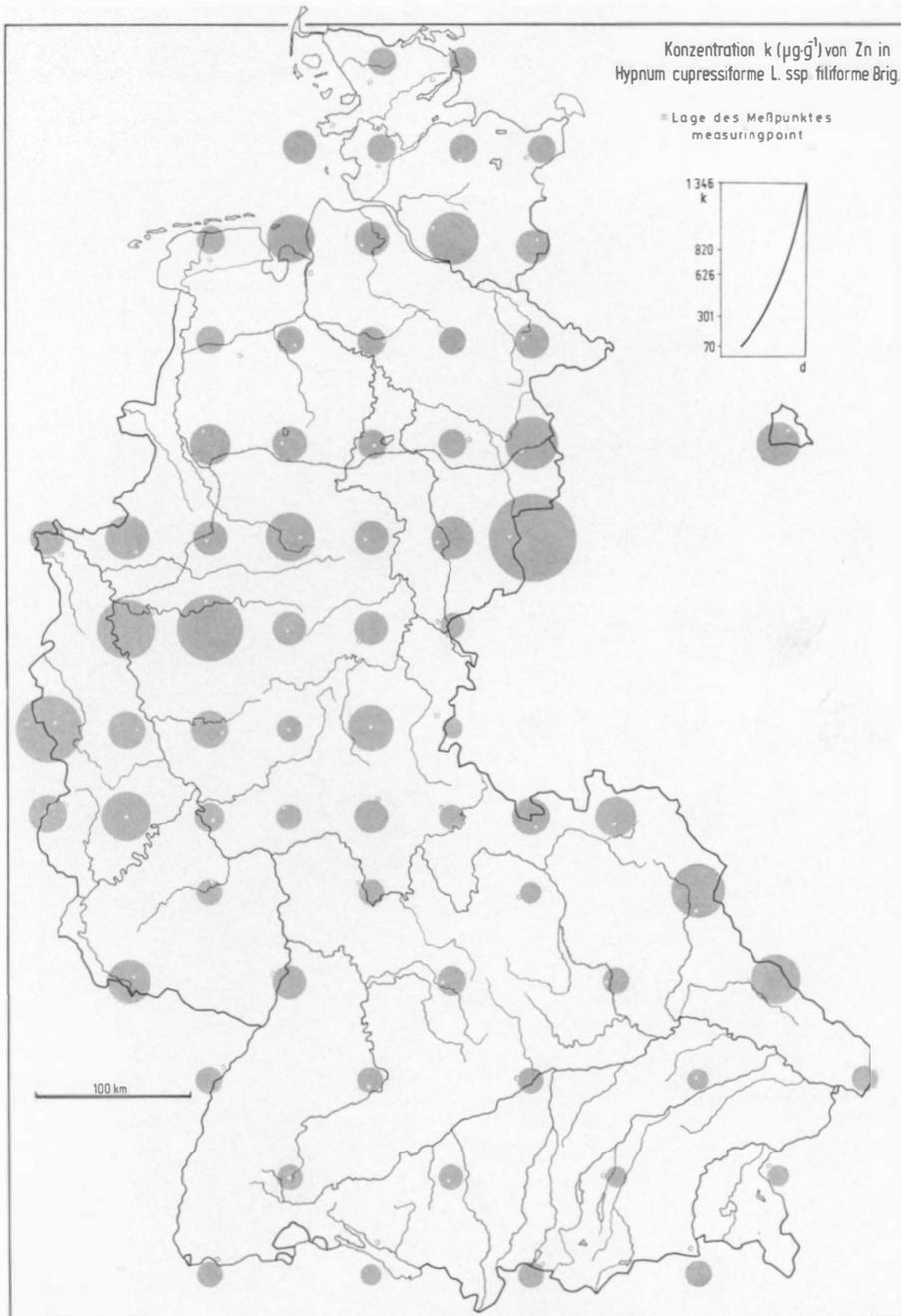


Abb. 5

Ein Vergleich der Verteilungsmuster mit denen in Skandinavien (G. TYLER [1970: 130], Å. RÜHLING [1970], Å. RÜHLING [1971] und Å. RÜHLING und G. TYLER [1973: 449–451]) zeigt, daß um die Gebiete mit höherem Anteil an metallurgischer Industrie hier wie dort steile Konzentrationsgefälle auftreten. Demgegenüber lassen sich großräumige Trends, wie sie in

Skandinavien erkennbar sind, auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland nicht wiederfinden.

IV. Multivariate statistische Auswertung

Ziel der multivariaten statistischen Auswertung ist es, die Abhängigkeiten zwischen den Spurenmetal-

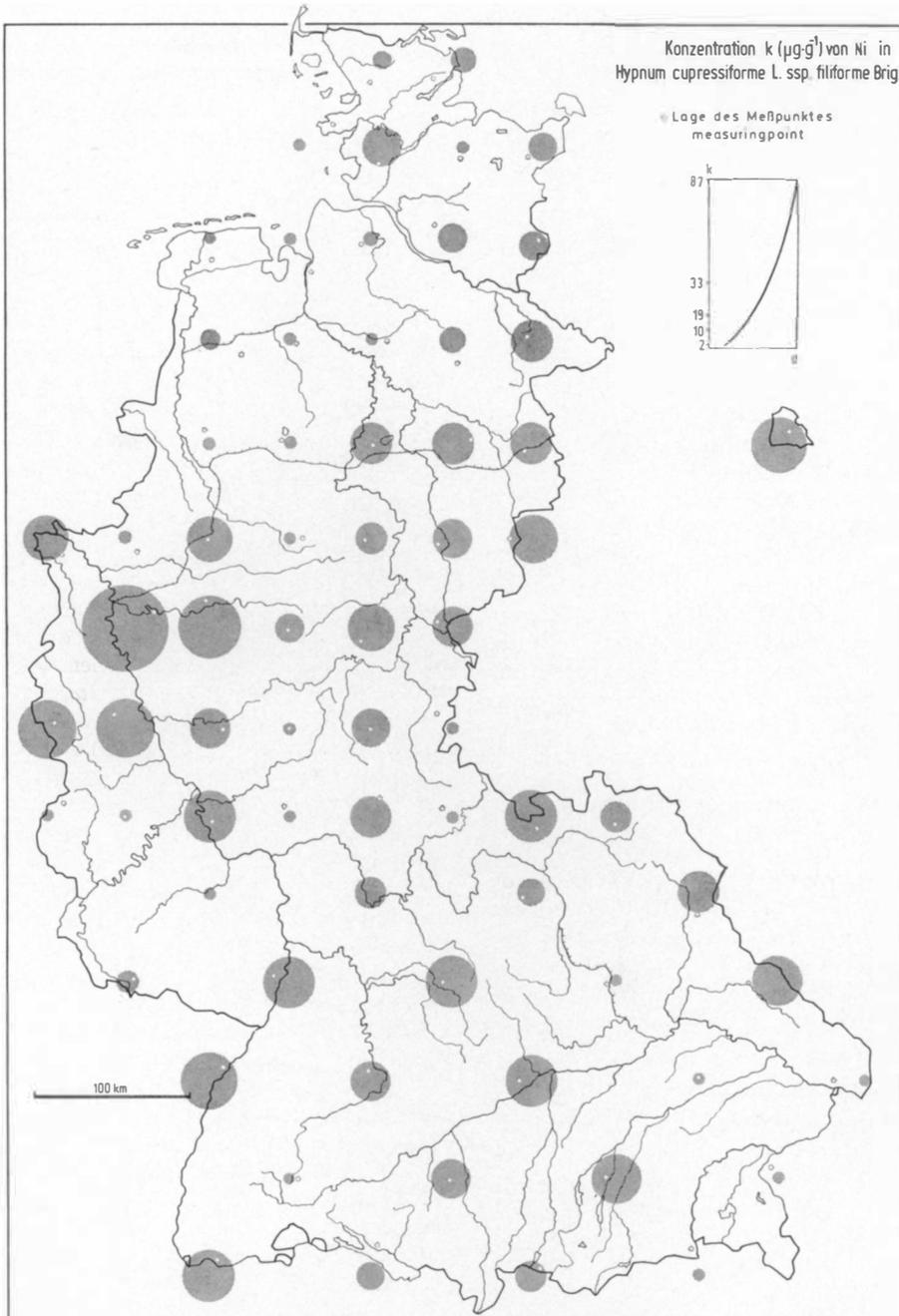


Abb. 6

len selbst und den ihre Gehalte in *Hypnum* steuernden Variablen aufzuzeigen. Ferner wird eine Gliederung der Spuremetallablagerungen vorgenommen.

1. Zuerst werden die an jedem Knotenpunkt gemessenen steuernden Variablen mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalität geprüft und gegebenenfalls in eine Normalverteilung transformiert, da

einige multivariate statistische Verfahren eine Normalverteilung der Variablen voraussetzen. Die Prüfung erfolgt auf dem 5%-Niveau.

2. Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse wird dann versucht, die Abhängigkeiten zwischen den Variablen aufzuzeigen. Dabei werden neue, zueinander orthogonale Dimensionen und deren Korrelationen

mit den ursprünglichen Variablen bestimmt. Diese Dimensionen werden Hauptkomponenten und die Korrelationskoeffizienten zwischen ihnen und den ursprünglichen Variablen werden die Hauptkomponentenladungen genannt.

3. Im Anschluß daran wird eine Clusteranalyse durchgeführt. Ziel dieses Verfahrens ist es, Gruppen ähnlicher Meßstellen aufzufinden. In einem weiteren Schritt werden diese Gruppen in eine Karte eingezeichnet. Es wurde der von J. H. WARD (1963: 236-244) vorgeschlagene Algorithmus angewandt.

4. Die eben durchgeführte Prüfung wurde abschließend mit Hilfe der multiplen Diskriminanzanalyse in einer strengeren Weise wiederholt. Das Wesen der multiplen Diskriminanzanalyse ist es, ein Ereignis einer von mehreren vorher festgelegten Gruppen zuzuordnen. Die zu lösende Aufgabe heißt dann: Wie wird mit Hilfe seiner steuernden Variablenwerte ein Ereignis welcher der vorgegebenen Gruppen zugeordnet? Da bei der multiplen Diskriminanzanalyse nach der linearen Zusammenstellung derjenigen Variablen gefragt wird, die die Gruppen optimal trennt, kann eine Aussage über die Art der Einflüsse gemacht werden, die zu bestimmten Spurenmetallmustern führen. Eine kurze Einführung in die Theorien der hier angewandten multivariaten Verfahren findet sich bei R. HERRMANN (1974: 367-385).

1. Hauptkomponentenanalyse und Auswahl der steuernden Variablen

Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurde die Normalität aller Variablen auf dem 5%-Niveau geprüft. Wurde keine Übereinstimmung nachgewiesen, dann wurde mit verschiedenen Transformationen versucht, eine Übereinstimmung zu erzielen. Die beste Transformation wird für die betreffende Variable aufgeführt:

- 1) ABST: Abstand von der nächsten NE-Metallhütte (km), $ABST^{0,5}$.
- 2) BIPW: Bruttoinlandsprodukt des warenproduzierenden Gewerbes 1972 (10^6 DM), gewogenes Mittel des zur Meßstelle gehörenden Thiessenpolygons, $BIPW^{-0,5}$.
- 3) BIPS: Bruttoinlandsprodukt aller Wirtschaftsbereiche 1972 (10^6 DM), Bezug: siehe BIPW, $BIPS^{-0,5}$.
- 4) BEVD: Bevölkerungsdichte 1973 ($n \text{ km}^{-2}$), Bezug: siehe BIPW, $BEVD^{-0,5}$.
- 5) NSUM: Mittlere Jahressumme der Niederschläge (mm) an der Meßstelle, $NSUM^{-1}$.
- 6) HMES: Höhe der Meßstelle (m), $\lg(HMES + 0,01)$.
- 7) KFZD: Kraftfahrzeugdichte ($n \text{ km}^{-2}$), Bezug: siehe BIPW, $KFZD^{-1}$.
- 8) WIND: Mittlere Windstärken (in Beaufort) an der Meßstelle, $1/\lg(WIND + 0,01)$.
- 9) CD: Cadmium ($\mu\text{g g}^{-1}$), $CD^{0,33}$.

- 10) CU: Kupfer ($\mu\text{g g}^{-1}$), $\ln \text{ Cu}$.
- 11) PB: Blei ($\mu\text{g g}^{-1}$), $\ln \text{ Pb}$.
- 12) ZN: Zink ($\mu\text{g g}^{-1}$), $Zn^{0,5}$.
- 13) NI: Nickel ($\mu\text{g g}^{-1}$), keine Transformation.
- 14) BE: Beryllium ($\mu\text{g g}^{-1}$), $BE^{0,5}$.

Aus der Menge der Variablen, die möglicherweise die räumliche Verteilung der Spurenmetalle beeinflussen, wurden die ersten acht oben aufgeführten ausgewählt.

Es wäre zweckmäßiger gewesen, Variablen zu verwenden, die einen direkten Bezug zur Spurenmetallproduktion oder -verarbeitung anzeigten. Sowohl das Bundesamt für Gewerbliche Wirtschaft als auch die Statistischen Landesämter verweigerten die Herausgabe von entsprechenden Daten mit der notwendigen hohen räumlichen Auflösung aus Geheimhaltungsgründen. Hinreichende Emissionskataster für Spurenmetalle liegen gleichermaßen nicht vor. Die getroffene Auswahl muß deshalb als ein Behelf angesehen werden.

Die Variable ABST wurde mit Hilfe von topographischen Karten ermittelt. Die folgenden Variablen BIPW und BIPS, die ein Maß für die wirtschaftliche Aktivität in einem Raum darstellen, wurden aus *Gemeinschaftsveröffentlichung der Statistischen Landesämter* (1975) entnommen. Ebenso wurden BEVD (*Statistisches Bundesamt* [1975: 50-54]) und KFZD (*Kraftfahrt-Bundesamt* [1975: 10-33]) in den amtlichen Statistiken aufgefunden.

Die übrigen Variablen HMES, NSUM und WIND sollen im Gegensatz zu den oben aufgeführten die naturräumlich bedingten Einflüsse aufzeigen. NSUM wurde aus *Reichsamt für Wetterdienst* (1939) übertragen, WIND aus *Deutscher Wetterdienst* (1974).

Die Abhängigkeit der Variablen untereinander kann aus der Hauptkomponentenmatrix (Tab. 1) abgelesen werden: Von den 13 möglichen Hauptkomponenten wurden die ersten acht aufgeschrieben. Sie geben 94% der Gesamtvarianz wieder. Von den steuernden Variablen laden alle bis auf ABST (= Hauptkomponente 6) den wirtschaftlichen Einfluß beschreibenden Variablen die erste Hauptkomponente hoch. Dagegen sind die naturräumlichen Variablen auf die Hauptkomponenten 3, 4 und 7 aufgeteilt. CD, CU, PB und ZN sind untereinander stark korreliert: Sie laden alle die Hauptkomponente 2 hoch.

Ein von diesen Spurenmetallen abweichendes Verhalten offenbaren BE und NI: Sie laden allein je die Hauptkomponente 5 und 8.

Die Variablen wurden für diesen Zweck der Untersuchung der Struktur der gegenseitigen Abhängigkeiten nicht normalverteilt (W. ANDERSON [1958: 273] und W. N. STAMMERS [1967: 264]).

2. Eine Gliederung der Bundesrepublik Deutschland nach gleichartigen Spurenmetallablagerungen

Bei einer Gliederung mit Hilfe der Clusteranalyse muß vorher entschieden werden, ob alle Information

Tabelle 1: Varimaxrotierte Hauptkomponentenmatrix. Es wurden alle Ladungen $<|0,50|$ fortgelassen

Principle component matrix after varimax rotation. Loadings $\geq 0,5$ are shown

Variable	Hauptkomponenten							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ABST						0,90		
BIPW	0,98							
PIPS	0,98							
BEVD	0,91							
NSUM			0,95					
HMES							0,92	
KFZD	0,90							
WIND				0,99				
CD	-0,91							
CU	-0,87							
PB	-0,79							
ZN	-0,93							
NI								0,82
BE					-0,94			
Varianz (%)	28	24	7	7	8	7	7	6

gleichgewichtig verteilt werden soll oder ob eine irgendgeartete Gewichtung sinnvoll ist (R. HERRMANN [1973: 37–55]). Wenn, wie im vorliegenden Falle, die Information gleichgewichtig verteilt werden soll, dann bieten sich zwei Lösungswege an: 1. Statt mit den sechs Spurenmetallwerten einer Station die Gliederung vorzunehmen, werden die Hauptkomponentenwerte der von ihnen geladenen Hauptkomponenten 2, 5 und 8 verwandt, denn diese beinhalten die wesentliche Information der Spurenmetalle oder 2. da CD, CU, PB und ZN alle eine Hauptkomponente hoch laden und nur NI und BE je eine weitere laden, wird aus der zweiten Hauptkomponente ZN als am höchsten ladende sowie NI aus der fünften und BE aus der achten ausgewählt und mit ihren Meßwerten die Gliederung vorgenommen. Dieser zweite geschilderte Weg wurde gewählt.

In Abb. 7 ist die räumliche Gliederung der Bundesrepublik Deutschland nach den Spurenmetallgehalten in *Hypnum* in der Weise vorgenommen, daß neben der Konzentration von Zn, Ni und Be weiterhin die Gruppenzugehörigkeit zu fünf Gruppen unterschiedlicher Konzentrationsbereiche dargestellt wurde. Das Kartodiagramm offenbart deutlich, daß die Spurenmetallkonzentrationen in *Hypnum* überall dort am höchsten sind, wo Art, Zahl und Größe der Emittenten diese Gehalte erwarten lassen: Die Meßpunkte der Gruppen 4 und 5 befinden sich am Nordharz, im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und im Stolberg-Aachener Raum. Ferner weisen die Meßpunkte der Gruppen 2 und 3 noch auf hohe Spurengehalte hin, wobei in Gruppe 3 höhere Gehalte von Zn und Ni und in Gruppe 2 höhere Gehalte von Ni und Be die bestimmenden Kriterien sind.

Der Gruppe 1 wurden schließlich alle jene Meßpunkte zugeordnet, an denen geringe Spurenmetallgehalte in *Hypnum* gefunden wurden.

3. Der Einfluß verschiedener steuernder Variablen auf die räumliche Spurenmetallverteilung

Nachdem die Probennahmestellen mit Hilfe der Clusteranalyse zu Gruppen ähnlicher Spurenmetallgehalte in *Hypnum* zusammengefügt worden sind, vermag die Diskriminanzanalyse im Anschluß daran folgende Frage zu beantworten: Welche Variablen vermögen am besten eine Meßstelle nach ihren Spurenmetallgehalten einer der durch die Clusteranalyse vorgegebenen Gruppen zuzuordnen? Dabei müssen die vorhergesagten Variablen der Trenngleichungen voneinander unabhängig sein, was aus der Hauptkomponentenmatrix ersehen werden kann.

Die Hauptkomponentenmatrix (s. Tab. 1) zeigt, daß die Gruppe der Spurenmetalle Cd, Cu, Pb und Zn interkorreliert ist. Aus diesem Grunde wird die Untersuchung des Einflusses der steuernden Variablen nur für die unterschiedliches Verhalten zeigenden Metalle Zn, Ni und Be durchgeführt.

In Tabelle 2 sind die Gruppengrenzen der Metallgehalte und in Tabelle 3 die F-Werte der vorhergesagten Variablen aufgeführt. Dabei ist es nur möglich, die F-Werte für jeweils ein Spurenmetall untereinander zu vergleichen. Für jedes der Spurenmetalle wurde gemäß den höchsten F-Werten und der Voraussetzung

Tabelle 2: Gruppengrenzen der Spurenmetallgehalte in *Hypnum* ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Range of groups of trace metal concentrations in *Hypnum* ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Gruppe/Metall	Zn	Ni	Be
1	< 180	< 4,5	< 0,6
2	180–450	4,5–14,5	0,6–1,5
3	450–710	14,5–25	1,5–2,1
4	710–1090	25–51	2,1–4,9
5	> 1090	> 51	> 4,9

Tabelle 3: F-Werte der vorhergesagten Variablen
F-values of predictor variables

Variable	Metall: Zn		Ni		Be	
	F-Wert	P	F-Wert	P	F-Wert	P
ABST	4,44	0,00	4,45	0,00	1,81	0,13
BIPW	1,56	0,19	4,76	0,00	1,92	0,12
BIPS	1,71	0,16	4,62	0,00	2,87	0,03
BEVD	9,89	0,00	9,90	0,00	4,20	0,00
NSUM	1,30	0,28	1,43	0,23	0,51	0,73
HMES	0,50	0,78	0,98	0,57	1,79	0,14
KFZD	1,57	0,19	5,31	0,00	3,17	0,02
WIND	0,69	0,61	0,68	0,61	1,24	0,30

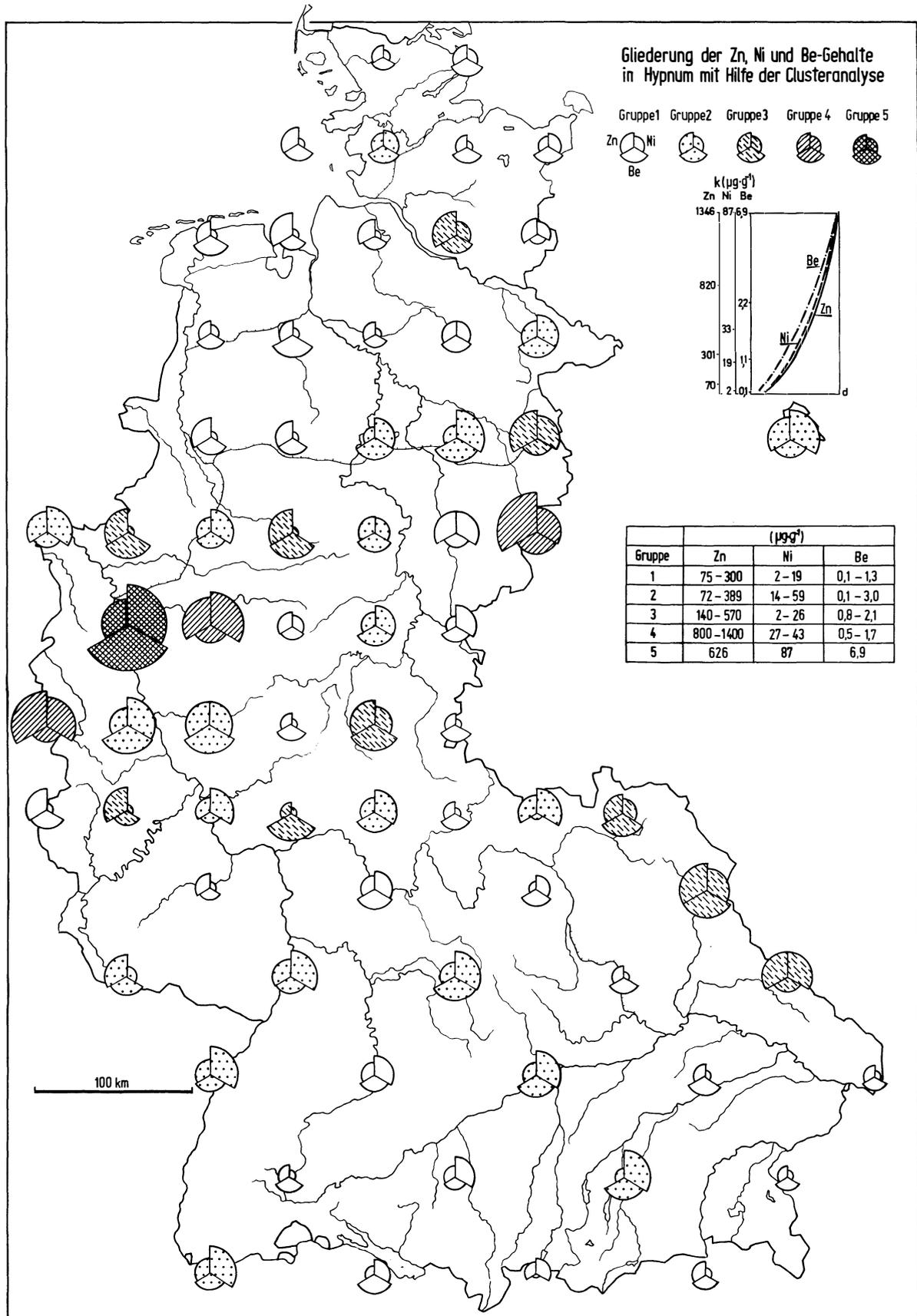


Abb. 7

der Unabhängigkeit die am besten trennende Kombination vorhersagender Variablen ausgewählt und mit der sich daraus ergebenden Trenngleichung und einem Zuordnungsverfahren (s. w. u.) die Güte der Gruppenzuordnung überprüft.

Die besten Trenneigenschaften offenbart aus der interkorrelierten Gruppe der Variablen, die das Wirtschaftsgeschehen beschreiben (BIPW, BIPS, BEVD und KFZD), die Variable BEVD. Die naturräumlichen Variablen vermögen allesamt keine gute Trennung herbeizuführen. Im Gegensatz dazu haben Å. RÜHLING und G. TYLER (1973: 448) für Südschweden eine Beziehung zwischen Niederschlägen und dem Gehalt an Cu und Pb im Moos *Hylocomium splendens* gefunden.

Die einzige weitere vorhersagende Variable mit besseren Trenneigenschaften ist ABST.

Es zeigte sich, daß die am besten trennende Kombination von vorhersagenden Variablen für alle drei Spurenmetalle ABST und BEVD ist. Es sind zwar bei zwei Variablen und fünf Gruppen zwei Trenngleichungen möglich, doch war bei keinem Modell die 2. Gleichung signifikant. Die Koeffizienten V_i für die Trenngleichung der Form

$$T = V_1 (ABST)^{0,5} + V_2 (BEVD)^{-0,5}$$

$$T = \text{Trennwert}$$

sind in Tab. 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Koeffizienten und χ^2 -Werte der Trenngleichungen

Coefficients and χ^2 -values of the discriminant functions

	V_1	V_2	χ^2	P
Zn	0,0037	1,0000	33,6	0,00
Ni	0,1663	0,9816	20,6	0,00
Be	0,0022	1,0000	15,6	0,01

Mit Hilfe der Zuordnungsvorschrift

$$AQ_g = \sum (T - C_g)^2$$

$$AQ_g = \text{Vektor der Abweichungsquadratsummen}$$

$$T = \text{Trennwert}$$

$$C_g = \text{Vektor der Centroide der } g = 1, \dots, 5 \text{ Gruppen (s. Tab. 5)}$$

lassen sich die Probennahmestellen den vorgegebenen Gruppen (Tab. 2) zuordnen.

Die Zn-Gehalte lassen sich für 56% allen Probennahmestellen richtig zuordnen. Werden Zuordnungen in Nachbargruppen mitberücksichtigt, dann verbessert sich das Verhältnis auf 89%. Bei der Zuordnung der Ni-Gehalte werden 63% Treffer ohne und 96% mit Berücksichtigung der Nachbargruppen erzielt. Dagegen ist die Zuordnung bei den Be-Gehalten, wie schon

Tabelle 5: Centroidvektoren

Centroid vectors

	Zn	Ni	Be
$C_g =$	0,1274	1,398	0,107
	0,1246	1,198	0,104
	0,1055	1,195	0,092
	0,0730	0,409	0,074
	0,0433	0,404	0,023

aufgrund der Betrachtung der Karten zu erwarten war, wegen der ungeeigneten vorhersagenden Variablen nur 29%. Auch wenn die Nachbargruppen mitberücksichtigt werden, verbessert sich das Ergebnis auf nur 77%.

Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse, daß aus der Stichprobe der steuernden Variablen BEVD und ABST die räumliche Varianz der Spurenmetallgehalte in *Hypnum* am besten erklären, wird durch die multiple Regressionsanalyse weiterhin bestätigt. Außerdem zeigt sich erneut, daß mit diesen Variablen bei Ni die Vorhersage am besten, bei Be am schlechtesten ausfällt (s. Tab. 6).

Tabelle 6: Ergebnisse der Regressionsanalyse

Results of the regression analysis

Zielvariable	mult. Korr.-Koeff.	β -Wert BEVD ^{-0,5}	β -Wert ABST ^{0,5}
Zn ^{-0,5}	0,41	0,17	-0,31
Ni	0,66	0,54	-0,21
Be ^{0,5}	0,40	0,41	-0,03

Literatur

- ANDERSON, T. W.: An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, Wiley: New York (1958) 1-374.
- CANNON, H. and BOWLES, J.: Contamination of Vegetation by Tetraethyl Lead. Science 137 (1962) 765-766.
- CZARNOWSKA, K. and REJMENT-GROCHOWSKA, I.: Concentration of heavy metals - iron, manganese, zinc and copper in mosses. Acta Soc. Bot. Poloniae 43 (1974) 39-44.
- Deutscher Wetterdienst: Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 1972 (Bundesrepublik). Offenbach: Selbstverlag (1974) 1-240.
- ERNST, W.: Zink- und Cadmium-Immissionen auf Böden und Pflanzen in der Umgebung einer Zinkhütte. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 85 (1972) 295-300.
- FIDORA, E.: Der Bleigehalt von Pflanzen verkehrsnaher Standorte in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 85 (1972) 219-227.
- Gemeinschaftsveröffentlichungen der Statistischen Landesämter: Das Bruttoinlandsprodukt der kreisfreien Städte und Landkreise 1970 und 1972. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: o. O. (1975) 1-81.

- GOODMAN, G. and ROBERTS, T.: Plants and Soils as Indicators of Metals in the Air. *Nature* 231 (1971) 287–292.
- HERRMANN, R.: Eine multivariate statistische Klimagliederung Nordhessens und angrenzender Gebiete. Beiträge zur Landeskunde von Nordhessen. Festschrift 39. Dt. Geographentag Kassel. Marburger Geogr. S. 60 (1973) 37–55.
- : Ein Anwendungsversuch der mehrdimensionalen Diskriminanzanalyse auf die Abflusvorhersage. *Catena* 1 (1974) 367–385.
- HUCKABEE, J.: Mosses: sensitive indicators of airborne mercury pollution. *Atmospheric Environment* 7 (1973) 749–754.
- and JANZEN, S.: Mercury in moss: derived from the atmosphere or from the substrate. *Chemosphere* 1 (1975) 55–60.
- Kraftfahrtbundesamt*: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Juli 1974, Bonn–Bad Godesberg: Kirschbaum (1974) 1–383.
- LE BLANC, F. et al.: Biological response of lichens and bryophytes to environmental pollution in the Murdochville Copper mine area, Québec. *Journ. Hattori Bot. Lab.* 38 (1974) 405–433.
- LOUNAMAA, J.: Trace Elements in Plants. *Ann. Bot. Soc. Vanomo* 29 (1956) 1–196.
- MASTERS, R.: Air Pollution – Human Health Effects. In: B. McCORMAC: Introduction to the Scientific Study of Atmospheric Pollution. Dordrecht: Reidel (1971) 97–130.
- Reichsamt für Wetterdienst*: Klimakunde des Deutschen Reiches. Bd. 2: Tabellen, Berlin: Reimer (1939) 1–560.
- RÜHLING, Å.: Tungmetallföroreningar inom Vargön-Trollhättanområdet. Department of Plant Ecology, University of Lund, Sweden. 1970. 6 S., Ktn. u. Tab. Vervielfältigung.
- : Tungmetallföroreningar inom Stor-Stockholmsområdet. Department of Plant Ecology, University of Lund, Sweden. 1971. 5 S., Ktn. u. Tab. Vervielfältigung.
- RÜHLING, Å. and TYLER, G.: An Ecological Approach to the Lead Problem. *Bot. Notiser* 121 (1968) 321–342.
- : Ecology of Heavy Metals – a Regional and Historical Study. *Bot. Notiser* 122 (1969) 248–259.
- : Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Heclw.) Br. et Sch., *Oikos* 21 (1970) 92–97.
- : Regional Differences in the Deposition of Heavy Metals over Scandinavia. *J. appl. Ecol.* 8 (1971) 497–504.
- : Heavy Metal Deposition in Scandinavia. *Water, Air and Soil Pollution* 2 (1973) 445–455.
- Statistisches Bundesamt*: Statistisches Jahrbuch 1975 für die Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart: Kohlhammer (1975) 1–739.
- STAMMERS, W.: The Application of multivariate techniques in hydrology. In: National Research Council of Canada (Hrsg.): Statistical Methods in Hydrology. Proceedings of Hydrology Symposium No. 5 (1967) held at McGill University, Febr. 1966.
- TYLER, G.: Moss analysis – a method for surveying heavy metal deposition. 2nd Intern. Clean Air Congr. Washington D. C., Proceedings. SU 30 F (1970) 129–132.
- : Heavy metals pollute nature, may reduce productivity. *Ambio* 1 (1972) 52–59.
- WARD, J. H.: Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *American. Statistic. Ass. J.* 58 (1963) 236–244.
- WENTZEL, K.-F.: Untersuchungen über die von einer Bleihütte ausgehenden Immissionen und das Ausmaß der durch sie während zweier Jahre verursachten Waldrauchschäden. Ber. Landesanstalt Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Bochum (1960) 63–87.
- YEAPLE, D.: Mercury in Bryophytes (Moss). *Nature* 235 (1972) 229–230.

BEVÖLKERUNGS- UND SOZIALGEOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG ALS GRUNDLAGE DER SANIERUNGS- UND SOZIALPLANUNG

Ein Beitrag zur angewandten Geographie

Mit 7 Abbildungen und 8 Tabellen

W. F. KILLISCH und K.-J. MOCH

Summary: A demographic and social geographical survey for social planning in the context of urban renewal projects. An empirical contribution to applied geography.

The study is concerned with the use of population- and social geographic investigations for social planning in the context of urban renewal projects. The study was performed in three residential districts in the old part of Lübeck, close to the CBD. It is based mainly on a series of interviews relating to 368 households in those districts.

The first part of the study is an extensive description of the spatial and social structure and an evaluation of the renewal needs of the districts. A summary of the results

provides further suggestions for a social plan and for further renewal projects; a discussion of the consequences related to those measures completes the study.

Aufgabe der Stadtsanierung ist die Beseitigung baulicher und funktionaler Mißstände. Die rechtlichen Grundlagen sind im Städtebauförderungsgesetz festgelegt. Dieses regelt die einzelnen Schritte bei der Vorbereitung, Planung und Durchführung der Sanierung.

Sanierungsplanung, insbesondere die Sozialplanung für die von den Sanierungsmaßnahmen betroffenen