

Der Schwermetallgehalt in Jahrringen von Bäumen -
eignet sich die Jahrringanalyse zur Erstellung von Chronologien der Umweltbelastung?

- Frieder Hofmann und Manfred Born -

Synopsis

The exactness of tree-ring-analysis as a biological method for establishing pollution histories has been proved by using an actual event, the major accident in the filter system of the Preussag-Lead-Smeltery in Nordenham lasting from autumn 1971 until spring 1972. The heavy metal lead served in this case as a valid parameter for environmental pollution. Lead was analysed using Zeeman-AAS. This method allows the repeated analysis of single tree ring samples of trunk cores from ash trees without cutting down the tree. The filter damage was reflected exactly in a significant increase of the lead concentration in the respective tree rings from 1971 to 1972. Further data on the history of lead production of the smeltery can be found in the lead curve of the tree rings, too. At the same time the lead concentration of the tree rings shows clear differences to the immission rates measured by technical instruments over the period of the past ten years. The results imply that the lead concentration of the tree rings resembles the complex biological lead burden accumulated in the soil, which is influenced by various factors e.g. edaphic conditions, acid rain, climate and chemical bond. The results demonstrate clearly the need for biological monitoring methods. Sweeping measures for effective reduction of emissions from the lead smeltery should be taken, hence the lead smeltery is located mid-town and the highly polluted surroundings are used for housing, gardening, living and farming.

Ash, biomonitoring, *Fraxinus excelsior*, history of pollution, lead, tree-ring-analysis, Waldsterben, Zeeman-AAS.

1. Einführung

Seit langem werden Jahrringe auf Breite, Dichte und Struktur untersucht und im Hinblick auf Umwelteinflüsse, wie Klima, Standort und Immissionswirkungen, interpretiert (SCHWEINGRUBER 1983). Jahrringe auf Schadstoffe zu analysieren, um damit Chronologien der Umweltbelastung erstellen zu können, ist ein neuer Ansatz und wurde erstmals grundlegend von LEPP (1975) diskutiert. In der Literatur wird im allgemeinen von einer zunehmenden Tendenz der Schwermetallgehalte in jüngeren Jahrringen berichtet und die Eignung der Methode für größere Trendaussagen (Long-Term-Monitoring) als positiv bewerte (DOLLARD et al. 1976; SYMENOIDES 1979; WICKERN, BRECKLE 1983; BAES, McLAUGHLIN 1984; BERISH, RAGSDALE 1985). Das Ziel unserer Arbeit war, die Exaktheit der Methode an Hand eines konkreten Ereignisses, das zu einer deutlichen Erhöhung der Umweltbelastung führte, zu überprüfen. Hierzu diente uns ein größerer Filterschaden in der Preussag-Blei-Hütte in Nordenham, der sich im Winter 1971/72 ereignete und bis Frühjahr 1972 andauerte. Der Ausfall der Filteranlagen führte zu hoher Umweltbelastung mit gravierenden Auswirkungen, wie z.B. letalen Schädigungen am Weidevieh (VETTER et al. 1973). Als geeigneter Parameter der Umweltbelastung kann für unsere Untersuchung das Schwermetall Blei herangezogen werden, da in Nordenham die Bleiemissionen eindeutig der Hütte zugeordnet werden können (VETTER et al. 1973).

2. Material und Methoden

In der Umgebung der Bleihütte wurden an vier Standorten unterschiedlicher Entfernung und Windrichtung insgesamt mehr als 1000 Jahrringproben aus 9 Bohrkernen von 7 Eschen (*Fraxinus excelsior* L.) untersucht (keine Straßenbäume). Esche wurde gewählt, da diese Baumart im Untersuchungsgebiet weit verbreitet ist und gleichzeitig wichtige Kriterien für eine sichere Jahrringanalyse, wie z.B. Ringporigkeit (BAES, RAGSDALE 1981), erfüllt. Die Auswahl der Bäume und Bohrkern erfolgte nicht zufällig, sondern gezielt. In Form von Pärchenvergleichen mit unterschiedlichen Faktorenkombinationen sollten abiotische und biotische Faktoren, die Einfluß auf den Schwermetallgehalt der Jahrringe haben könnten, und deren Wechselwirkungen Berücksichtigung finden. So wurden Bäume unterschiedlichen Alters und Schädigungsgrades gewählt, von einem Baum mehrere Bohrkern analysiert und verschieden belastete Standorte berücksicht-

sichtig. Zur Auswahl der Bäume wurden dendrochronologische Voruntersuchungen an einem größeren Kollektiv durchgeführt, wodurch sich Alter und Schädigung bestimmen ließen. Als Kriterium für Schädigung fungierten Jahrringreduktionen (SCHWEINGRUBER 1983). Die Wahl der unterschiedlich belasteten Standorte richtete sich nach den Ergebnissen des Immissionskatasters von Nordenham (NDS. MIN. F. BUNDESANGELEGENHEITEN 1983). Zur Überprüfung der Standortsbelastungen wurden ergänzend Rindenuntersuchungen (BARNES et al. 1976) durchgeführt. Die Versuchsanordnung ist ausführlich bei BORN u. HOFMANN (1986) dargelegt.

Der Arbeitsgang ist schematisch in Abb. 1 wiedergegeben und gliedert sich in folgende Schritte: Entnahme der Bohrkern (Schritte 1-6): Der Bohrkern wird mittels eines teflonbeschichteten Zuwachsbohrers in Brusthöhe nach Entfernung der äußeren Borke entnommen. Ein kleiner Teil der Manteloberfläche des Bohrkerns wird unmittelbar mittels teflonbeschichteter Rasierklingen senkrecht zu den Tracheen entfernt, so daß eine spätere Datierung der Jahrringe möglich wird. Der Bohrkern wird nun in verschlossenen Plastikröhren mit Trockeneis sofort tiefgefroren und bei -83°C aufbewahrt. Anschließend erfolgt die Verschließung des Bohrlochs mit Lackbalsam. Um Elementverlagerungen während des Trocknungsprozesses zu verhindern, werden die Bohrkern einer Gefriertrocknung unterzogen (Schritt 7). Die Bohrkern werden bei 10-40facher Vergrößerung auf ihre Jahrringbreiten hin untersucht und synchronisiert (SCHWEINGRUBER 1983) (Schritt 8 u. 10).

Bleianalyse (Schritt 11): unter dem Binokular werden die Bohrkern in ihre einzelnen Jahrringe gespalten. Die Jahrringe werden unter Beachtung der für den extremen Spurenbereich notwendigen Reinlichkeitsgebote nach dem in Abb. 1 gezeigten Schema in mehrere Unterproben aufgeteilt, wobei die eventuell kontaminierte Manteloberfläche des Bohrkerns vollständig entfernt wird. Das Gewicht der Unterproben wird im Graphitschiffchen auf 0.005 mg genau bestimmt und sollte zwischen 0.2 und 5 mg liegen. Die Proben werden dann im Zeeman-Atom-Absorptions-Spektrometer (Grün Optik, SM-1) auf Blei analysiert. Die Nachweisgrenze (3fache Standardabweichung des Blindwertes nach BOS u. JUNKER 1983) liegt für mittlere Einwaagen von 1 mg in der Regel zwischen 5 und 10 ppb.

Für die Erstellung von Chronologien ist weniger die Exaktheit der absoluten Gehalte, wo die Feststoffanalytik mit Problemen behaftet ist, als vielmehr die Genauigkeit der relativen Gehalte innerhalb eines Bohrkerns von Bedeutung. Die relative Genauigkeit der Methode innerhalb der Gültigkeit einer Eichkurve kann mit einem Fehler von unter 5% als sehr gut bezeichnet werden. Die Jahrringe eines Bohrkerns werden deshalb immer innerhalb einer Eichkurve durchgemessen. Von großem Nutzen für die Analyse im extremen Säurenbereich erwies sich der Vorteil der Methode, daß einzelne Jahrringe wiederholt in getrennten Unterproben analysiert und somit Ausreißer und kontaminierte Proben erkannt werden konnten.

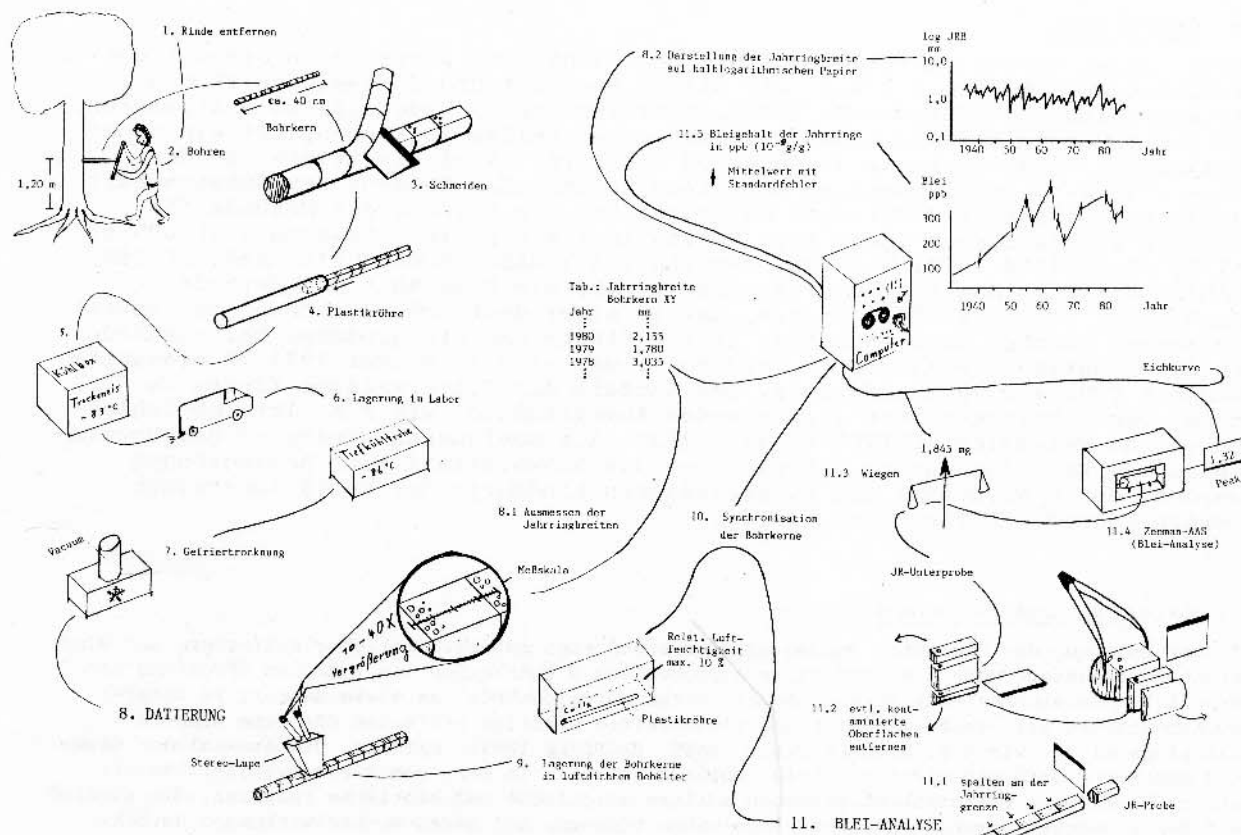


Abb. 1: Schematisierte Darstellung eines Arbeitsgangs der Jahrringanalyse.

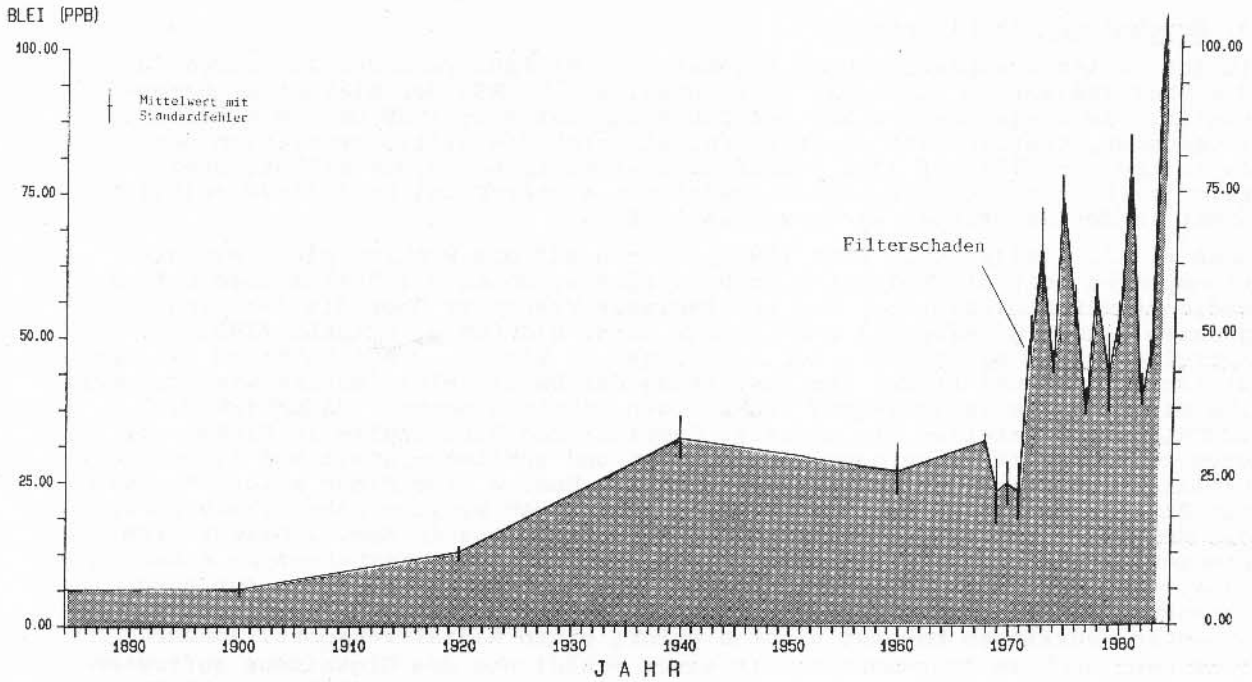


Abb. 2: Bleikonzentration der Jahrringe der Esche NA5 in Nordenham-Atens.

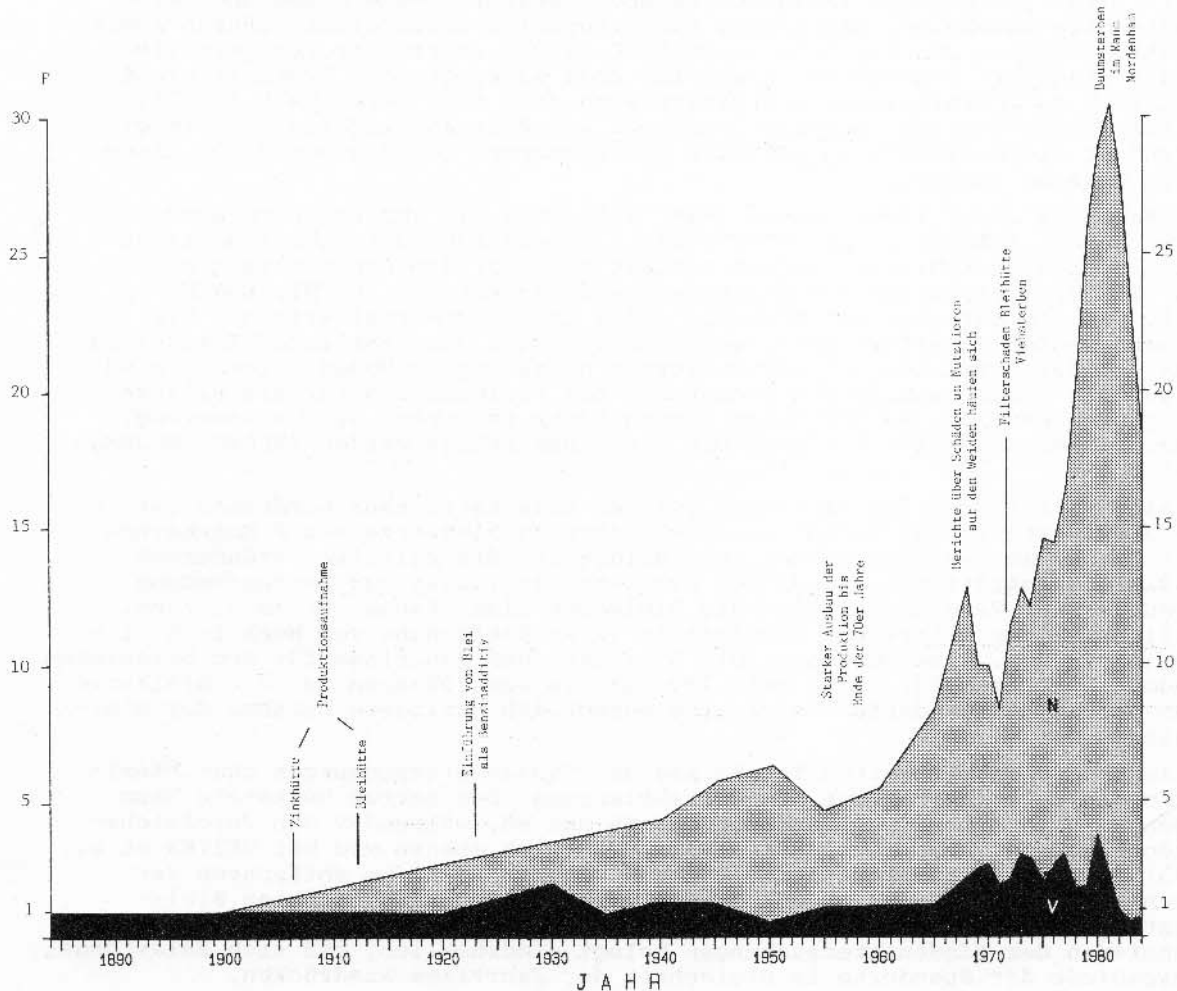


Abb. 3: Relative Veränderung der Bleikonzentration der Jahrringe von Eschen, bezogen auf das Jahr 1900 ($F = 1$).

N = Bleimittelkurve für den belasteten Standort Nordenham; ca. 1000 Jahrring-Bleiwerte aus 8 Bohrkernen von 6 Eschen, $1 \times F \approx 6.25$ ppb Blei.

V = Bleikurve der Esche V am Vergleichsstandort Stollhamm in 12 km Entfernung vom Emittenten, $1 \times F \approx 14.1$ ppb Blei.

3. Ergebnisse mit Diskussion

In Abb. 2 ist exemplarisch das Ergebnis der Bleianalysen der Jahrringe für die über 180jährige Esche NA5 (Nordenham, 2.5 km WSW der Bleihütte) dargestellt. Die Bleikonzentration der Jahrringe hat seit 1900 um ein Mehrfaches zugenommen. Deutlich ist zu erkennen, wie sich die Bleikonzentration der Jahrringe von 1971 auf 1972 signifikant (t-Test, $p < 0.01$) erhöht. Damit zeigt sich, daß sich der Filterschaden von Winter/Frühjahr 1971/72 zeitlich exakt in den Jahrringen wiederfinden läßt.

WARD et al. (1974) sowie LEPP (1975) weisen auf das Problem eines Radialtransportes über die Holzstrahlen hin. LEPP u. DOLLARD (1974) zeigen mittels radioaktiver Blei-Isotope, daß ein radialer Transport über die Jahrringgrenzen hinweg prinzipiell stattfinden kann. WICKERN u. BRECKLE (1983) korrelieren die Bleigehalte der Jahrringe von Eichen am Autobahnrand mit den Bleiemissionen und finden die Auswirkung der Benzin-Blei-Gesetze wieder, wenn sie eine radiale Verschiebung von wenigen Jahren annehmen. HAGEMEYER u. BRECKLE (1986) stellen die höchsten Cadmium- und Bleigehalte in Eichen vor etwa 20 Jahren im Verkernungsbereich fest und schließen somit auf einen radialen Transport zur Verkernungszone hin. Unsere Ergebnisse zeigen dagegen für Blei in Eschen keine radiale Verschiebung von wenigen Jahren, was durch die zeitlich exakte Wiederfindung des Filterschadens in Abb. 2 belegt wird. Ebenso wenig läßt sich eine radiale Verschiebung zur Verkernungszone erkennen (s.a. Abb. 3). Dies widerspricht nicht unbedingt den Ergebnissen der oben genannten Autoren. Die festgestellte Abnahme der Elementgehalte in den jüngsten Jahrringen beweist nicht a priori einen Radialtransport, sondern dies kann auch im Zusammenhang mit einer Schädigung des Organismus auftreten (s. unten). Die Schlußfolgerungen von BAES u. RAGSDALE (1981) sowie BAUCH et al. (1985), die einen radialen Transport zwar für Nadelbäume und zerstreutporige Laubbäume, nicht aber für ringporige feststellen, können somit bestätigt werden. Der von LEPP u. DOLLARD (1974) im Prinzip festgestellte radiale Transport scheint zumindest für Blei in Eschen das Ergebnis nicht wesentlich zu beeinflussen. Bekräftigt wird dies auch durch HALL (1977), der für *Fraxinus* einen radialen Transport von Blei auszuschließen vermag, während er einen allerdings geringen Quertransport für die ebenfalls ringporige *Quercus* annimmt.

Nach Behebung des Filterschadens (Mai 1972) ging die Immissionsbelastung wieder zurück (VETTER et al. 1973). Die Bleibelastung der Jahrringe zeigt diesen Rückgang nicht an, sondern pendelt sich auf dem hohen Niveau ein (Abb. 2). Dies bestätigt die Ergebnisse anderer Autoren (FATHI, LORENZ 1980), daß die Aufnahme von Blei vor allem über die Wurzel erfolgt. Die Bleigehalte der Jahrringe entsprechen damit nicht den jährlichen Immissionsraten, sondern vielmehr der akkumulierten Belastung im Boden. Hierbei sind weniger die Gesamtgehalte von Bedeutung, als vielmehr die für die Pflanze verfügbaren Anteile, welche durch verschiedene Faktoren, wie Versauerung, Klima, Ton-Humusgehalt, Bindungsform etc., beeinflußt werden (HERMS, BRÜMMER 1984).

Die Blei-Mittelkurve der Jahrringe für den belasteten Raum Nordenham ist in Abb. 3 dargestellt und umfaßt ca. 1000 Jahrring-Bleiwerte aus 8 Bohrkernen von 6 Eschen an drei Standorten. Abgebildet ist die relative Veränderung der Bleikonzentration, bezogen auf das Jahr 1900, d.h. vor Werksgründung der Hütte. Zum Vergleich wurden die Bleiwerte einer Esche (V) am vierten, deutlich weniger belasteten Standort in 12 km Entfernung vom Werk in Stollhamm in die Abb. 3 aufgenommen. Die Bleikurve der Jahrringe für den belasteten Standort Nordenham (N) nimmt seit 1900 um bis zum 30fachen zu. Die Bleikurve V des Vergleichsstandortes weist eine wesentlich geringere Zunahme der Bleigehalte auf.

Die in Abb. 4 dargestellten Ergebnisse der Rindenuntersuchungen charakterisieren die unterschiedliche Standortsbelastung. Der extrem belastete Raum Nordenham beinhaltet die Standorte NE, NS und NA, während V den Vergleichsstandort kennzeichnet. Anzumerken wäre, daß sich ebenso wie bei VETTER et al. (1973) der Immissionseinfluß der Hütte auch noch am 12 km entfernten Vergleichsstandort in einer gegenüber der normalen deutlich erhöhten Bleibelastung bemerkbar macht. Der Vergleich der Jahrringbleikurven mit den Ergebnissen der Rindenuntersuchungen belegt eindrücklich, daß sich Belastungsunterschiede der Standorte im Bleigehalt der Jahrringe ausdrücken.

Abb. 5 zeigt die Produktionskurve der Bleihütte. Es läßt sich eine gute Übereinstimmung mit der Nordenhamer Jahrringbleikurve N feststellen. Markante Daten, wie Produktionsaufnahme Anfang des Jahrhunderts, vorübergehender Rückgang der Produktion nach dem 2. Weltkrieg in den 50er Jahren und die starke Steigerung der Bleiproduktion in den 60er und 70er Jahren, spiegeln sich im Bleigehalt der Jahrringe wider.

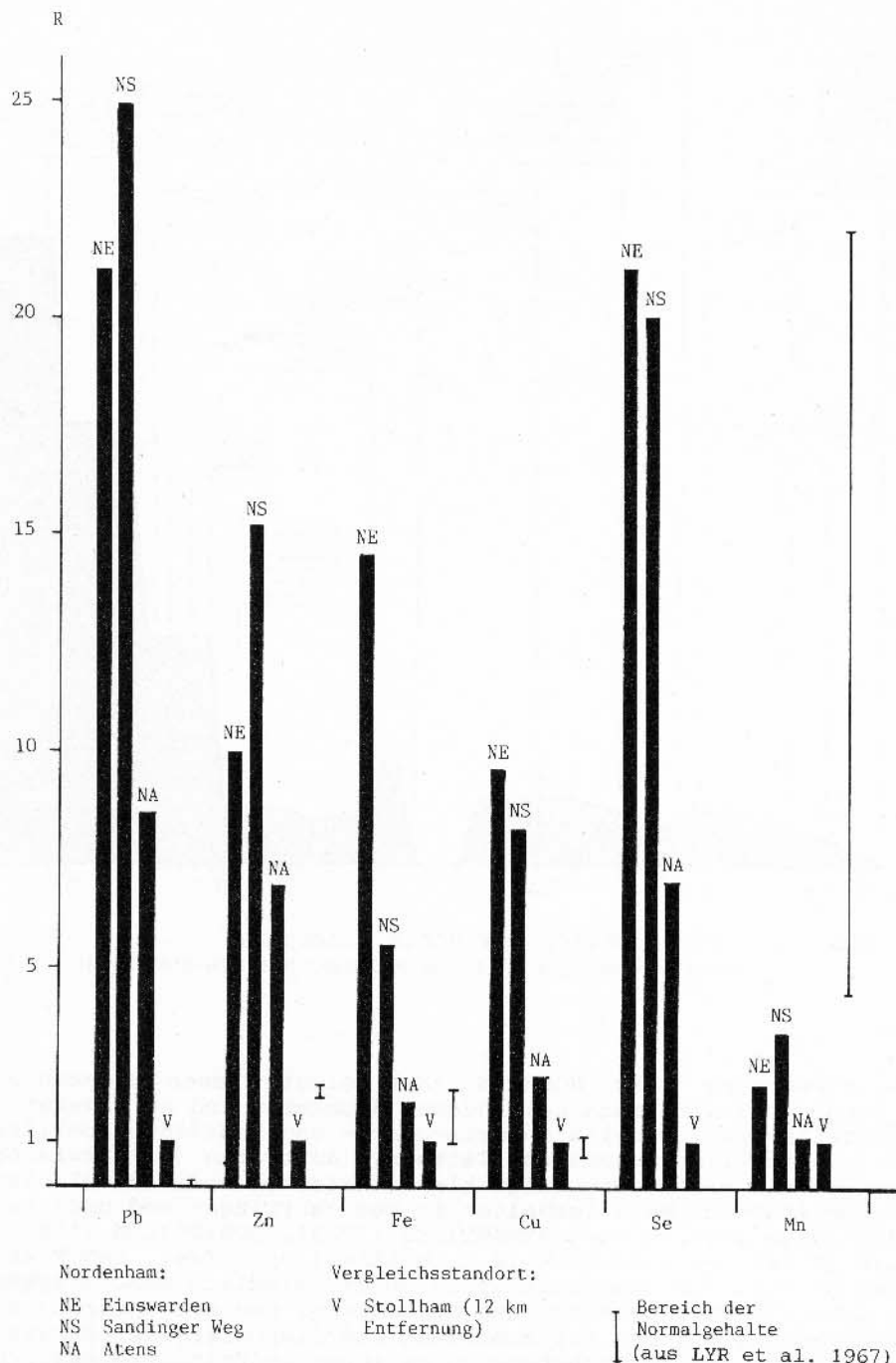


Abb. 4: Relative Schwermetallkonzentrationen von Rindenmischproben der Esche zur Charakterisierung der Immissionsbelastung der Untersuchungsstandorte, bezogen auf den Vergleichsstandort Stollhamm (= 1R).
 1 R \approx 281 ppm Pb bzw. 120 ppm Zn bzw. 436 ppm Fe bzw. 17 ppm Cu bzw. 1 ppm Se bzw. 34 ppm Mn.

Die Bleikurven der verschiedenen Bäume bzw. Bohrkernverläufe verlaufen bis zum Filterschaden von 1971/72 recht einheitlich, danach zeigen sich jedoch zunehmend Unterschiede. Dies wird z.B. im Vergleich der Einzelkurve NA5 in Abb. 2 mit der Mittelkurve N in Abb. 3 sichtbar. Die Mittelkurve steigt exponentiell an und fällt dann nach Erreichen eines Höhepunktes Anfang der 80er Jahre abrupt ab. Dieser scharfe Anstieg nach 1972 geht mit einem vermehrten Auftreten von Jahrringreduktionen und sichtbaren Schadsymptomen in den 80er Jahren einher. Der Zusammenhang von steigender Umweltbelastung, angezeigt durch unsere Leitsubstanz Blei, und einem Erreichen von Belastungsgrenzen kann damit durch die Jahrringanalyse sichtbar gemacht werden. Eine

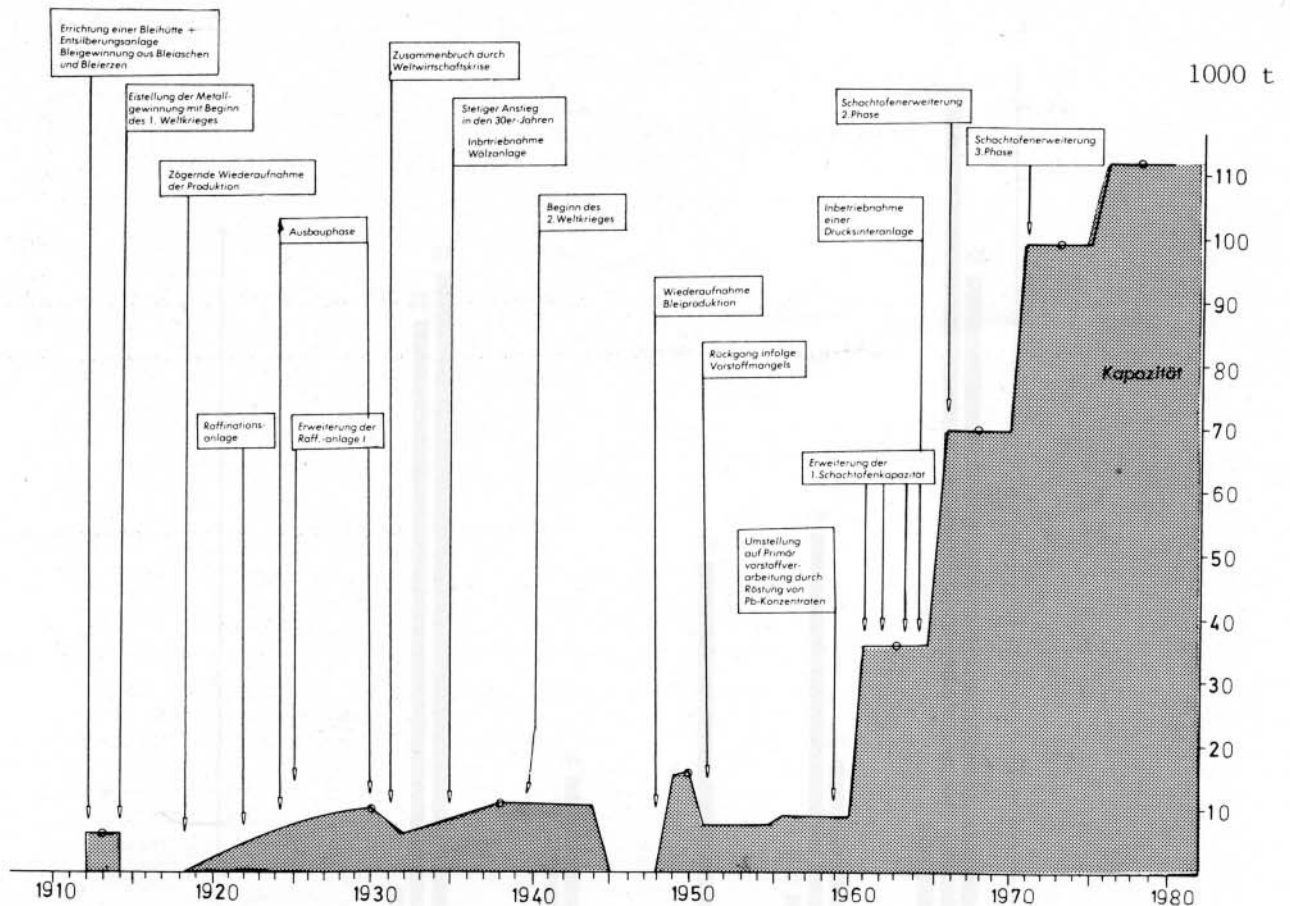


Abb. 5: Bleiproduktion der Hütte Nordenham.

Daten zusammengestellt aus PREUSSAG-BOLIDEN-BLEI GMBH, 1981.

statistische Auswertung (BORN, HOFMANN 1986) belegte diesen Zusammenhang und ergab, daß dieses Phänomen auch bei anderen Baumarten und an anderen Standorten festzustellen war, wobei standorts-, art- und individualspezifische Unterschiede hinsichtlich Ausmaß und Zeitpunkt auftraten (z.B. zwischen geschädigten und als nicht-geschädigt klassifizierten Individuen). Eine Koinzidenz zwischen erhöhten Metallgehalten in den Jahrringen und beginnenden Jahrringreduktionen stellen auch SYMENOIDES (1979), ROBITAILLE (1981), BAES u. McLAUGHLIN (1984) sowie McLAUGHLIN u. BRÄKER (1985) fest. BAUCH et al. (1985) zeigen an Hand von Elementanalysen unterschiedlich geschädigter Fichten von unterschiedlich belasteten Standorten, daß die anthropogene Schwermetallbelastung (Cd und Pb) zumindest als disponierender Stressor zu berücksichtigen ist, der zu Wachstumsdepressionen im Feinwurzelbereich führen kann. Eine Hypothese über den Zusammenhang von Elementgehalt (Pb) der Jahrringe und Schädigung ist bei BORN u. HOFMANN (1986) dargelegt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß Blei lediglich als ein Parameter gemessen wurde, der die Umweltbelastung kennzeichnen soll, und nicht als alleiniger Wirkstoff, der zum Absterben der Bäume führt. Für das Baumsterben ist nach ULRICH (1983) und SCHÜTT (1984) das komplexe Zusammenwirken aller Schadeinflüsse von Bedeutung.

Die Daten der bestehenden Immissionsmeßprogramme über den kritischen Zeitraum nach dem Filterschaden (Abb. 6) lassen weder den dramatischen Kurvenverlauf der Bleibelastung der Jahrringe noch die tatsächlich aufgetretene Zunahme der Baumschäden erahnen. Dies zeigt eindrücklich, daß technische Monitoringverfahren nicht ausreichen, um biologische Belastungen und Wirkungen zu charakterisieren, und belegt die dringende Notwendigkeit biologischer Monitoringmethoden, wie es auch von anderen Autoren gefordert wird (VETTER 1982). Die Ergebnisse weisen die Jahrringanalyse als eine hierfür vielversprechende Methode aus, insbesondere durch die Kombination von Monitoring-eigenschaften (Schadstoffanalyse in den Jahrringen) und Indikatorqualitäten (Zuwachs der Jahrringe) in ein und demselben, dazu noch langlebigen Orga-



Abb. 6: Gleitendes Jahresmittel des Bleiniederschlags in Nordenham (4 x 4 km, in $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{Tag}$).
Entnommen aus NDS. MIN. BUNDESANGELEGENHEITEN 1983.

nismus. Zur Absicherung sind jedoch weitere Studien notwendig, wobei es sicherlich lohnenswert wäre, neben weiteren Metallen auch radioaktive Isotope und organische Wirkstoffe in Betracht zu ziehen.

Sowohl die Belastung der Rinden als auch die biologische Belastung der Jahrringe in der Umgebung der Erzhütte ist trotz erfolgter Maßnahmen immer noch als extrem hoch zu bezeichnen. Die Blei- und Zinkhütte befindet sich inmitten des Stadtgebietes von Nordenham und ist umgeben u.a. von Wohnsiedlungen, Geschäften, Schulen, Kleingärten und Bauernhöfen. Der dramatisch zu nennende Verlauf der Bleikurve und das sichtbar gewordene Baumsterben sollten als ernstzunehmende Warnzeichen verstanden werden. Durchgreifende Maßnahmen zu einer effektiven und deutlichen Reduktion der Emissionen der Hütte sind daher dringend angezeigt.

Danksagung

Dem Bremer Umweltinstitut sprechen wir an dieser Stelle unseren Dank aus für die Möglichkeit, die Analysen an ihrem Zeeman-AAS ausführen zu können. Dipl.-Math. W. Wosniok gebührt Dank für die Hilfe bei der statistischen Auswertung. Wir danken auch all jenen, die uns bei der Durchführung der Diplomarbeit im Fachbereich 2 Biologie/Chemie an der Universität Bremen beratend und helfend zur Seite standen.

Literatur

- BAES C.F., RAGSDALE H.L., 1981: Age-specific lead distribution in xylem rings of three tree genera in Atlanta, Georgia. *Environ. Poll.* 2: 21-36.
- BAES C.F., McLAUGHLIN S.B., 1984: Trace elements in tree rings: evidence of recent and historical air pollution. *Science* 224: 494-497.
- BARNES D., HAMADAH M.A., OTTAWAY J.M., 1976: The lead, copper and zinc content of tree rings and bark. *Sci. Tot. Environ.* 5: 63-67.
- BAUCH J., RADEMACHER P., BERNEIKE W., KNOTH J., MICHELIS W., 1985: Breite und Elementgehalt der Jahrringe in Fichten aus Waldschadensgebieten. *VDI-Berichte* 560: 943-959.
- BERISH C.W., RAGSDALE H.L., 1985: Chronological sequence of element concentrations in wood of *Carya* spp. in the Southern Appalachian Mountains. *Can. J. For. Res.* 15: 477-483.
- BORN M., HOFMANN F., 1986: Der Nachweis von Schwermetallen in Jahrringen von Bäumen als biologisches Monitoring-Verfahren zur Erstellung einer Chronologie der Umweltbelastung. Diplomarbeit Univ. Bremen:
- BOS U., JUNKER A., 1983: Nachweis- und Bestimmungsgrenze als kritische Verfahrensgrößen vollständiger Meßverfahren in der Umweltanalytik. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 316: 135-141.
- DOLLARD G.J., TIAN T.K., LEPP N.W., 1976: Some approaches to the development of tree ring analysis as a monitoring tool for heavy metal pollution. In: (Ed. KARENILAMPI L.): Proceedings of the Kuopio Meeting on plant damages caused by air pollution. (Finland, Aug. 16-18 1976): 16-25.
- FAHTI M. LORENZ H., 1980: Bindungsformen von Hg, Cd und Pb in Biotopen, Verhalten in der Nahrungskette und Vorkommen in Nahrungsmitteln, Metabolismus in Pflanze, Tier und Mensch. *ZEBS-Ber.* 1 [Reimer]:

- HAGEMEYER J., BRECKLE S.-W., 1986: Cadmium in den Jahresringen von Eichen: Untersuchungen zur Aufstellung einer Chronologie der Immissionen. *Angew. Bot.* 60: 161-174.
- HALL C., 1977: A study of certain heavy metals in woody plants. Ph. D. Thesis Liverpool Polytechnic Inst.
- HERMS U., BRÜMMER G., 1984: Einflußgrößen der Schwermetall-Löslichkeit und -bindung in Böden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 147: 400-424.
- LEPP N.W., DOLLARD G.J., 1974: Studies on lateral movement of ^{210}Pb in woody stems. Patterns observed in dormant and non-dormant stems. *Oecologia* 16: 179-184.
- LEPP N.W., 1975: The potential of tree-ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns. *Environ. Poll.* 9: 49-61.
- LYR H., POLSTER H., FIEDLER H.J., 1967: *Gehölzphysiologie*. Jena (Fischer).
- McLAUGHLIN S.B., BRÄKER O.U., 1985: Methods for evaluating and predicting forest growth responses to air pollution. *Experientia* 41: 310-319.
- NIEDERS. MIN. F. BUNDESANGELEGENHEITEN, 1983: *Umweltschutz in Niedersachsen - Reinhaltung der Luft 7*. Hannover:
- PREUSSAG-BOLIDEN-BLEI GMBH, 1981: *75 Jahre Hütte Nordenham*. Nordenham.
- ROBITAILLE G., 1981: Heavy-metal accumulation in the annual rings of "Balsam Fir" (*Abies balsamea* (L.) Mill.). *Environ. Poll.* 2: 193-202.
- SCHÜTT P., 1984: *Der Wald stirbt an Streß*. München (Bertelsmann):
- SCHWEINGRUBER F.H., 1983: *Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie*. Stuttgart/Bern (Haupt).
- SYMENOIDES C., 1979: Tree ring analysis for tracing the history of pollution. Application to a study in Northern Sweden. *J. Environ. Qual.*: 482-486.
- ULRICH B., 1983: Luftverunreinigung und Ökosphäre - Versuch einer Gesamtschau. In: *Immissionsbelastungen von Waldökosystemen*. LÖLF-Mitt. (Sonderh.) [erw. Aufl] : 3a-9a.
- VETTER H., MÄHLHOP R., FRÜCHTENICHT K., 1973: *Immissionsstoffbelastung im Raum Nordenham*. Bericht über großräumige Immissionsmessungen im Auftrag des Niedersächsischen Sozialministers. LUFA Oldenburg.
- VETTER H., 1982: *Schwermetalle in der Nahrungskette - Belastungsgrenzen für Pflanzen*. *Landw. Forsch. Sdh.* 39 (Kongreßband): 12-27.
- WARD N.I., BROOKS R.R., REEVES R.D., 1974: Effect of lead from motor vehicle exhausts on trees along a major thoroughfare in Palmerston: North New Zealand. *Environ. Poll.* 6: 149-158.
- WICKERN M., BRECKLE S.-W., 1983: Blei im Eichenholz vom Autobahnrand. *Ber. Dt. Bot. Ges.* 96: 343-350.

Adresse:

Frieder Hofmann
 Manfred Born
 Am Lehester Deich 60c
 D-2800 Bremen