© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich **131** (1994): 141-152

Mikroskopische und röntgenenergiedispersive Untersuchungen an Holzproben von *Acer platanoides* aus dem Stadtgebiet von Wien

Helmuth SIEGHARDT und Marie-Luise WEIDINGER

Aus dem Stadtgebiet von Wien wurden Bäume der Gattung *Acer* hinsichtlich ihrer meist sehr schlechten Wachstumsbedingungen sowie auf Grund ihrer hohen Belastung durch anthropogene Immissionen (z.B. Auftausalze) untersucht. Als Untersuchungsmethoden dienten Licht- und Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersive Röntgen-Mikroanalyse.
Die röntgenenergiedispersive Elementanalyse von Bohrkernen aus dem Stammholz von *Acer platanoides* ergab als wesentliches Ergebnis ein unterschiedliches Verteilungsmuster der Elemente Calcium, Kalium und Silizium in kambiumnahen und marknahen Jahresringen. Darüber hinaus nahm die relative Konzentration des Elementes Silizium in den älteren Holzproben deutlich zu. Die mikroskopischen Studien an Bohrkernen zeigten keine Anomalien des Holzes bzw. anatomisch-morphologische Veränderungen des Wassertransportsystems. Es ist aber nicht auszuschließen, daß längerfristig durch den verstärkten Einsatz von Auftaumittel über den belasteten Boden Schadeinflüsse auf die Bäume einwirken, die sich nicht nur physiologisch, sondern auch in Veränderungen anatomischer Strukturen, z.B. in den Gefäßwänden des Xylem-Transportsystems bzw. in der Zahl der am Wasser- und Nährstofftransport aktiv beteiligten Xylemgefäße, ausprägen können. Die röntgenenergiedispersive Mikroanalyse könnte eine geeignete Methode sein, im Holz von Laub- und Nadelbäumen die akropetale Verlagerung von Spurenelementen zu dokumentieren und damit einen Beitrag zur Dendroökologie und Immissionstoxikologie von Stadtbäumen zu leisten.

SIEGHARDT H. & WEIDINGER M.-L., 1994: Microscopic and X-ray microanalytical studies on trunk samples of *Acer platanoides* from the urban area of Vienna.
Trees of the genus *Acer* from the Vienna city limits were examined due to their generally poor growth conditions and their high contamination through anthropogenic immissions (e.g., de-icing salt). Light and scanning electron microscope methods combined with X-ray microanalysis were applied.
The key result provided by the X-ray energy-dispersive analysis of elements from cores of trunk wood of *Acer platanoides* was the uneven distribution pattern of the elements calcium, potassium, and silicon in annual rings near the vascular cambium and those near the central non-functional area of the trunk. In addition, the relative concentration of silicon increased considerably in the older wood samples. The microscopic investigation of the cores revealed no anomalies in the wood or anatomic-morphological changes in the water transport system. In the long term, it cannot be excluded that the intensive application of road salt damages the trees via the contaminated soil. This impact may go beyond physiological effects and modify anatomical structures, for example

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

the vessel walls of the xylem transport system or the number of xylem vessels actively involved in conducting water and nutrients. The X-ray microanalysis may be an appropriate method to document the acropetal displacement of trace elements in deciduous and coniferous trees and thus contribute to the dendroecology and immission toxicology of city trees.

Keywords: *Acer platanoides*, annual growth rings, microscopy, mineral content, X-ray microanalysis.

Einleitung

Bäume sind in der Großstadt neben natürlichen auch zivilisatorischen Umwelteinflüssen (z.B. Industrie-, Auto- und Hausbrandabgasen) ausgesetzt, die wegen ihrer meist synergistischen Effekte zu erhöhten Streßzuständen führen können. In der Regel wirken diese Streßfaktoren kontinuierlich über längere Zeit auf die Bäume ein, wodurch die klimatischen Einflüsse zunehmend von stadttypischen Standortbedingungen (z.B. Hitze- und Trockenstreß, Schadstoffbelastung, Bodenverdichtung und Einengung des Wurzelraumes) überlagert werden (vgl. ECKSTEIN et al. 1981, MEYER 1982, DÄSSLER & BÖRTITZ 1988, MAIER 1992, FARMER 1993, TENDEL & WOLF 1988, MEISCH et al. 1986, DONELLY et al. 1990). Aus diesem Grund wird eine Kausalanalyse umweltrelevanter Wachstumsfaktoren in den meisten Fällen erschwert und zeitigt nur dann Ergebnisse, wenn die zu untersuchenden Faktoren das Wachstum des Baumes meßbar verändern und sich z.B. in der Anlage unterschiedlich breiter Jahresringe manifestieren. Die Jahresringe können somit als Indizien für vorangegangene günstige und/oder ungünstige Wachstumsfaktoren, z.B. für diverse Klimaschwankungen in der Vergangenheit, angesehen werden. Durch eine dendroökologische Holz- und Jahresringanalyse können Informationen zur Beurteilung von Schadsymptomen von Stadtbäumen gewonnen werden, wenngleich die Zuordnung einzelner Störfaktoren, die durch längere Zeit zurückliegende Ereignisse bedingt sind, in der Regel nicht möglich ist (KLEIN & ECKSTEIN 1988).

Mit Hilfe der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse ist es unter bestimmten Voraussetzungen (siehe Material und Methoden) möglich, das Verteilungsmuster von Makro- und Mikronährstoffen bzw. von toxischen Spurenelementen im Holz von Stadtbäumen zu erhalten und damit den Einfluß bestimmter Wachstumsfaktoren auf die Ausbildung unterschiedlicher Jahresringbreiten zu dokumentieren (BAES & RAGSDALE 1981, BONDIETTI et al. 1990).

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es festzustellen, ob diese Methode im Zusammenhang mit mikroskopischen Begleitstudien geeignet ist, qualita-

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

tive Unterschiede in der Elementverteilung im Holz festzustellen und darüber hinaus weitere Kenntnisse über die Einlagerung bzw. Verlagerung von Mineralstoffen in das lebende Holz zu erlangen.

Material und Methode

Beprobt wurden mehrere Stämme von Spitzahorn (*Acer platanoides* L.) aus dem Wiener Stadtgebiet (19. Bezirk, Peter-Jordan-Straße). Die ausgewählten Bäume stehen unmittelbar am Fahrbahnrand, inmitten kleiner, grasbewachsener Grünflächen. Sie sind durch den Einsatz von Kaliumkarbonat als Auftaumittel und Splitmaterial unterschiedlicher Korngröße im winterlichen Streudienst (mündliche Mitteilung der Magistratsabteilung 48 der Gemeinde Wien) einer erhöhten Streßbelastung ausgesetzt. Pro Baum wurde mit Hilfe eines Zuwachsbohrers ca. 1 m über dem Erdboden 1 Bohrkern von 5 mm Durchmesser in radialer Richtung zum Stammzentrum entnommen. Das etwa 10 mm große Bohrloch wurde nach der Probenahme mit einem in der Baumpflege üblichen Wachs verschlossen. Die Bohrkerne wurden anschließend im Labor mit einem Skalpell schräg zum Durchmesser geglättet, damit die Jahresringe in ihrer Struktur besser hervortraten. Das Probenmaterial wurde bis zur Weiterverarbeitung im Exsikkator getrocknet. Zusätzlich wurden mit einem Schlittenmikrotom Dünnschnitte von 20-25 µm unter Bedampfung der Holzproben mit Aqua dest. für die Beschreibung der Gefäße bzw. Gefäßverteilung über die gesamte Jahresringbreite angefertigt.

Als Material für die röntgenenergiedispersive Analyse wurden die vom Stammholz gewonnenen Bohrkerne verwendet, wobei kambiumnahe und marknahe Abschnitte von ca. 5 mm Länge präpariert, anschließend auf Graphit-Probenteller geklebt und mit Kohle (Dioden-Sputter-Anlage) homogen bedampft wurden.

Die Proben wurden im Rasterelektronenmikroskop (JEOL 35 CF) untersucht und mit Hilfe eines Röntgen-Mikroanalysesystems (LINK QX 2000) einer computergestützten Auswertung zugeführt. Die Multielementanalyse erfolgte im Energiebereich zwischen 10-30 KeV Beschleunigungsspannung über 100 Sekunden Analysezeit. Die für jedes Element charakteristische Gammastrahlung ist als Impulsfolge dargestellt, wobei die Anzahl der Impulse (counts per second) die Anzahl der gezählten Quanten repräsentiert und die Impulshöhe Aussagen über die Energie der nachgewiesenen Röntgenquanten bzw. die relative Konzentration der bestimmten Elemente zuläßt. Die sog. Rückstreuelektronen werden bei der Berechnung der typischen Röntgenspektren im System als Röntgen-Bremsstahlungskontinuum berücksichtigt (vgl. Abb.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

3 und 4). Eine detaillierte Beschreibung der Methode bzw. Durchführung der Analysen findet sich u.a. bei GOLDSTEIN et al. (1984). Die grafische Auswertung der vorliegenden Daten als Mittelwerte von Wertepaaren von Adressen und Zählerständen erfolgte mit Hilfe des Computerprogrammes Plot-IT (Grafik & Statistic Software) Version 2.0.

Ergebnisse

Mikroskopische Studien

Der Spitzahorn (*Acer platanoides* L.) gehört zu den zerstreutporigen Laubhölzern, wobei sich der Splint — das ist der äußere Holzmantel des Stammes, in dem der aktive Wassertransport stattfindet und in dem noch lebendes Holzparenchym vorhanden ist — vom inneren Teil des Holzkörpers (dem Kern) farblich kaum unterscheidet. Die Abbildung 1 zeigt einen senkrecht zur radialen Richtung des Stammholzes angefertigten Bohrkernschnitt (kambiumnaher Bereich). Durch die schräge Schnittführung bedingt, ist die zeitliche Gewebefolge (die Anfangszone bzw. die Endzone der Jahresringe)

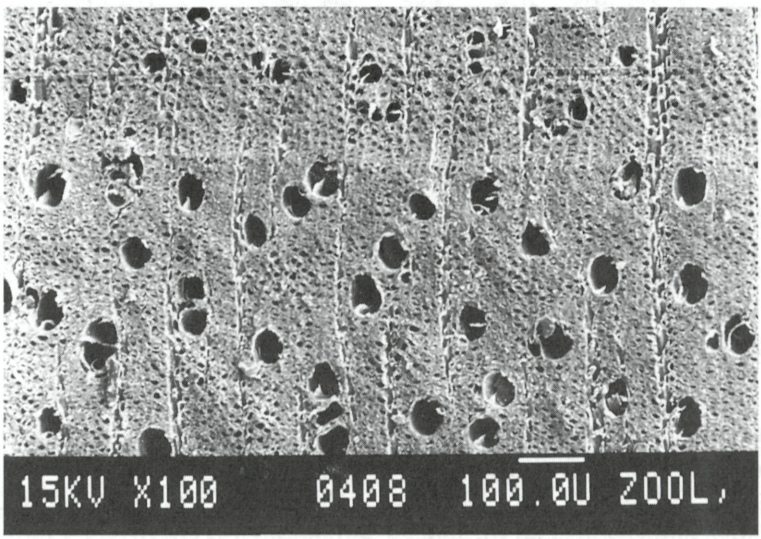

Abb. 1: *Acer platanoides*, Stammbohrkern-Querschnitt. Im zerstreutporigen Laubholz sind die Poren der Gefäße einzeln oder in radialen Reihen regelmäßig verteilt. Markstrahlen verlaufen in radialer Richtung; durch die schräge Schnittführung sind sie nur undeutlich zu erkennen. REM-Aufnahme (Vergrößerungsmaßstab: 100 µm). — *Acer platanoides*, cross section of trunk core. In diffuse porous hardwood the vessel pores are distributed either randomly or regularly in radial rows. Rays are oriented radially; they are poorly visible due to the oblique sectional plane. SEM photograph (enlargement: 100 µm).

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

etwas undeutlich ausgeprägt. Dennoch sind die Lumina der Gefäße gut zu erkennen und in mehr oder minder regelmäßiger Anordnung über die gesamte Querschnittsfläche verteilt. Im „Pseudo-Tangentialschnitt" (Abb. 2) sieht man die aus 4-5 Reihen bestehenden, homogenen Markstrahlen. Daneben sind einzelne Gefäße mit Hoftüpfel und schraubigen Zellwandverdickungen deutlich zu erkennen. Das übrige Gewebe besteht hauptsächlich

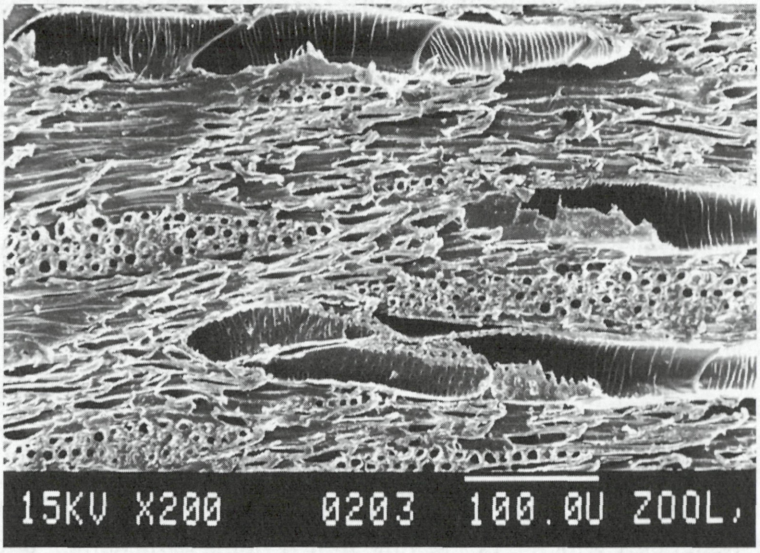

Abb. 2: *Acer platanoides,* Pseudo-Tangentialschnitt. Markstrahlen mehrreihig; die schraubigen Verdickungen der Gefäße sind im REM-Bild gut zu erkennen (Längs- und Querwände mit Hoftüpfeln). Vergrößerungsmaßstab: 100 µm. — *Acer platanoides,* pseudo-tangential section. Multiseriate rays; helical thickenings in vessels are clearly visible in the SEM photograph (longitudinal and transverse walls with pits). Enlargement: 100 µm.

aus englumigen, sehr dickwandigen Libriformfasern und einigen wenigen Fasertracheiden. Man spricht in diesem Zusammenhang von hartem bis mittelschwerem Holz.

Aus diesen Untersuchungen lassen sich noch keine gesicherten Unterschiede im anatomischen Bau von Splint- und Kernholz feststellen, es sei denn, daß die wasserleitenden Elemente des Splintholzes im Gegensatz zum Kernholz etwas weitlumiger sind und nicht so stark verdickte Zellwände besitzen.

Weitere Studien werden zeigen, ob bei stadtbewohnenden Laubbäumen im Früh- und Spätholz Strukturunterschiede auftreten und wie derartige Merkmale aus anatomisch- ökologischer Sicht zu deuten sind.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Elementanalyse des Holzes

Die röntgenenergiedispersive Elementanalyse ergibt charakteristische Spektren für kambiumnahe und marknahe Abschnitte des Baumes. In den Xylemringen kambiumnaher Abschnitte (Abb. 3) ließen sich die Elemente Calcium, Kalium, Eisen, Phosphor und Silizium nachweisen. Das Element Ca ist in beiden Jahresringproben relativ hoch konzentriert. In einem Fall (Probe A) mit 2 unterschiedlich hohen Peaks (Kα- und Kβ-Röntgenlinien). Die relativ geringe Eisenkonzentration in der Probe dürfte durch oberflächenkontaminiertes Material verursacht sein. Das Element Silizium, vielfach Bestandteil von Zellwänden wasserleitender Gefäße, konnte auch im kambiumnahen Bereich des Stammholzes nachgewiesen werden (vgl. Abb. 4). Vergleicht man die beiden Teilproben miteinander, so fällt die gute Übereinstimmung im Muster der Elementverteilung auf. In beiden Fällen ist das Element Calcium relativ am häufigsten. Dies ist ein Hinweis darauf, daß dieses Element vor allem in die Strukturen aktiv wasserleitender Xylemelemente eingelagert wird. Kalium weist hingegen eine zum Calcium relativ niedrige Konzentration auf.

In älteren, marknahen Bereichen des Stammholzes zeigt sich im Vergleich mit jüngeren Abschnitten des Holzes das stärkere Hervortreten des Elementes Silizium (Abb. 4). Si hat praktisch nur für den Apoplasten Bedeutung und wird hauptsächlich als Kieselsäure (SiO_2) in stärkerem Ausmaß in die toten, festigenden Elemente des sekundären Xylems (Tracheiden und Fasermaterial) eingelagert. Auffällig ist die relativ hohe Si-Konzentration im Vergleich zu den kambiumnahen Xylemelementen des Holzes. Der Phosphor-Peak ist in den älteren Teilen des Holzes offenbar völlig verschwunden; möglicherweise ist die Phosphorkonzentration unterhalb der Nachweisgrenze gelegen. Die Elemente Kalium und Calcium sind in ähnlich hohen Konzentrationen in diesen Holzabschnitten vorhanden, wenngleich die Absolutwerte beider Elemente deutlich niedriger sind als in jüngeren Teilen des Holzes (vgl. Abb. 3). In älteren Xylemringen wird das Kalium, mit dem Calcium dominierendes Kation im Xylemsaft (vgl. LÄUCHLI et al. 1971), möglicherweise in die Membranen der Parenchymzellen der Markstrahlen eingelagert. Mit zunehmendem Alter des Holzes kann das Strahlparenchym auch an Zahl zunehmen, wodurch die Kaliumkonzentration in den Parenchymzellen relativ zur Gesamtmenge abnimmt (KUČERA & KUČERA 1967). Das Verteilungsmuster der chemischen Elemente in kambiumnahen und marknahen Abschnitten des Stammholzes ist nicht nur ein Hinweis auf die qualitativen Unterschiede im Holzkörper (Splint und Kern), sondern darüber hinaus auch ein Indiz dafür, daß der Aufbau der jährlichen Xylemringe von der Funktion der entsprechenden Gewebe entscheidend mitbestimmt wird.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

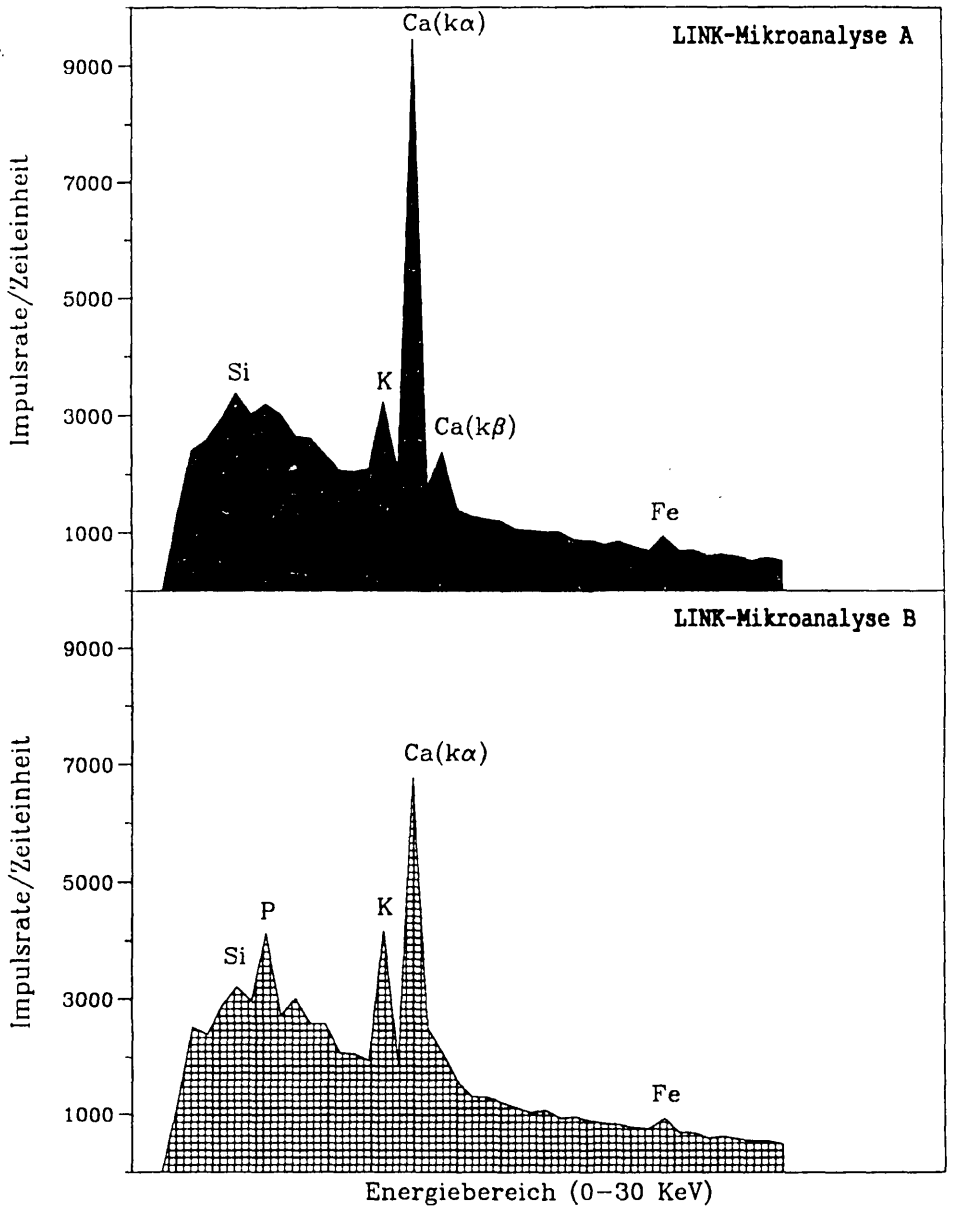

Abb. 3: Röntgenenergiedispersive Spektren. Probe A und B entspricht zwei verschiedenen Abschnitten kambiumnaher Jahresringe aus dem Splint von *Acer platanoides*. Die relative Konzentration der bestimmten Elemente (Höhe der Peaks) enspricht den in den Gefäßwänden des sekundären Xylems lokalisierten Elementen. — X-ray spectra. Sample A and B represent two different sections of annual rings near the vascular cambium from a sapwood of *Acer platanoides*. The relative concentration of particular elements (peak height) corresponds to the elements localized in the vessel walls of the secondary xylem.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

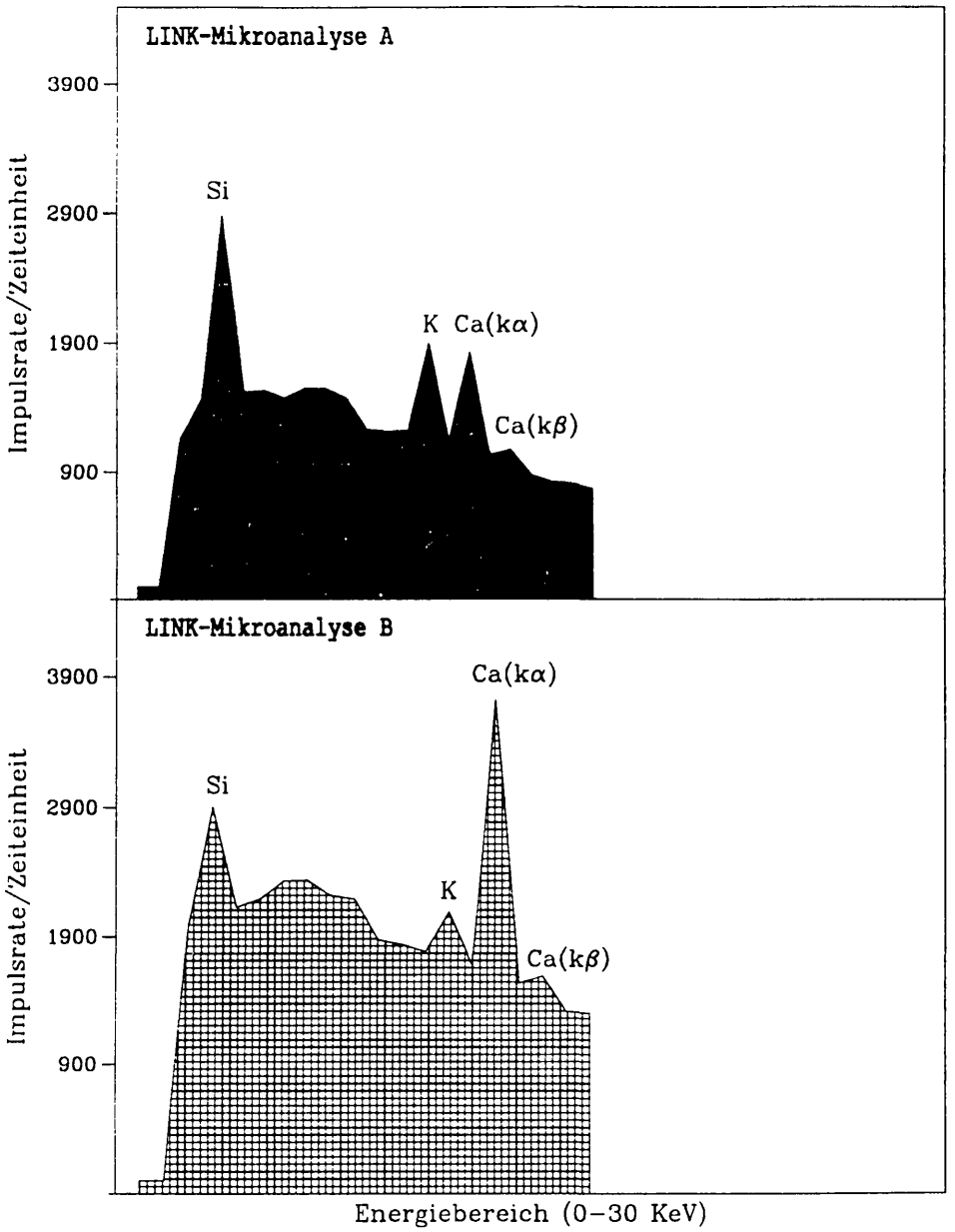

Abb. 4: Röntgenenergiedispersive Spektren. Probe A und B sind jeweils unterschiedliche Xylemringe aus dem marknahen Kern von *Acer platanoides*. — X-ray spectra. Sample A and B represent different xylem rings from the heartwood of *Acer platanoides*.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Diskussion

Mit Hilfe der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse konnten 5 verschiedene Elemente in jungen (kambiumnahen) und in älteren (marknahen) Xylembereichen aus Bohrkernproben des Spitzahorns identifiziert und deren charakteristische Spektren aufgezeichnet werden. In diesem Zusammenhang ist allerdings erwähnenswert, daß der Nachweis bestimmter Mineralstoffe im Holz sehr häufig eine Funktion der gewählten Analytik in den speziellen Untersuchungen ist. Aus diesem Grund wurde die Röntgenmikroanalyse in Verbindung mit der Rasterelektronenmikroskopie als ortsauflösendes (bildgebendes Analyseverfahren angewandt. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß Spurenelemente und auch Metalle in situ simultan erfaßt und Aussagen über Aufnahme und Konzentration verschiedener Elemente in pflanzlichen Geweben gemacht werden können. Aufgrund der von uns gewählten Präparationstechnik (vgl. Material und Methode) können in erster Linie nur jene Elemente bestimmt werden, die fest an anatomische Strukturen (z.B. Zellwände) gebunden oder in die lignin- und cellulosehaltige Matrix des Xylems eingelagert werden (vgl. JAUNIN et al. 1991). Eine intrazelluläre Spurenanalyse (d.h. Analyse von Mikro-/Makroelementen in bestimmten Kompartimenten) war daher nicht möglich; sie soll aber mit geeignetem Probenmaterial noch nachgeholt werden, um damit auch die subzelluläre Lokalisation bestimmter Mineralstoffe im Strahlparenchym des Holzes feststellen zu können.

Vergleicht man die Ergebnisse kambiumnaher mit marknahen Holzproben, so fällt auf, daß in der Elementverteilung und Elementkonzentration sowohl qualitative als auch quantitative Unterschiede im Stammholz des Spitzahorns auftreten (Abb. 3 und 4). In den ontogenetisch jüngeren, kambiumnahen Xylemringen, in denen der Wasser- und Nährstofftransport in akropetaler Richtung stattfindet, signalisieren die relativ mobilen Elemente Phosphor und Kalium eine erhöhte kambiale Aktivität, die sich in der zeitlichen Folge der Gewebebildung (Frühholz/Spätholz) und in den Veränderungen der Gewebestruktur innerhalb der Jahresringe manifestieren. So kann z.B. Phosphor, wie CUTTER & GUYETTE 1993 berichten, relativ leicht aus dem „Reservoir" des Splintholzes in die Stoffwechselprozesse des Baumes eingeschleust werden, wie überhaupt die Mobilität von Nährionen sehr stark von den Bindungskräften in der Xylem-Matrix bzw. dem jeweiligen Grad der Komplexierung mit organischen Liganden im Xylemsaft abhängt (vgl. GLAVAC et al. 1990). Die relativ hohen Calciumkonzentrationen in kambiumnahen Xylemringen reflektieren wiederum den verstärkten Einbau dieses Elementes in die Zellwände des aktiven Wasser- und Mineralstofftrans-

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

portsystems, wobei Ca vor allem in die pektinreichen Mittellamellen sowie in die Lignin-Matrix relativ stabil eingebaut wird (CUTTER & GUYETTE 1993).

Die physiologischen Vorgänge, die zur Umwandlung des Splintholzes in Kernholz führen, sind auch von chemisch-physikalischen Veränderungen der Zellwände begleitet. In älteren, am aktiven Stofftransport nicht mehr beteiligten Xylemringen sind die Zellwände der Tracheen und Tracheiden nicht nur dicker, sondern sie werden auch durch Einlagerungen phenolischer Kernholzsubstanzen und verschiedener Mineralstoffe (z.B. Kieselsäure) chemisch verändert. Dadurch kann sich einerseits die mechanische Zug- und Druckfestigkeit des Holzes, andererseits die Resistenz gegenüber Pilzbefall deutlich erhöhen (vgl. BOSSHARD 1974). Die charakteristischen Si-Peaks in den marknahen Xylemringen weisen daraufhin, daß im Zuge des qualitativen Alterungsprozesses vor allem des Wasserleitsystems mineralische Stoffe aus dem Xylemwasser in die Zellwände des Transportsystems eingelagert bzw. die Schließmembranen stark mit Inkrusten belegt werden und damit auch zur mechanischen Festigkeit des Kernholzes insgesamt beitragen.

Weiteren Untersuchungen wird es vorbehalten sein festzustellen, ob im Holz von Stadtbäumen auch phytotoxische Schwermetalle (z.B. Blei) nachzuweisen sind und welche Rolle in diesem Falle das lebende Strahlparenchym im radialen Stofftransport dieser Spurenelemente spielt.

Danksagung

Wir danken Frau Prof. Dr. W. KLEPAL (Institut für Zoologie, Feinstrukturforschung) für ihre Unterstützung und ihr großes Interesse an botanischen Studien am REM der Zoologie. Herrn A. LOSERT danken wir für seine technische Assistenz und Mithilfe bei den Untersuchungen am REM. Herrn Prof. Dr. K. BURIAN sei für die Bereitstellung finanzieller Mittel für den Laborbetrieb gedankt.

Literatur

BAES C. F. & RAGSDALE H. L., 1981: Age-specific lead distribution in xylem rings of 3 tree genera in Atlanta Georgia, USA. Environ. Pollut. Ser. B, Chem. Phys. 2, 21-36.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

BONDIETTI E. A., MOMOSHIMA N., SHORTLE W. C. & SMITH K. T., 1990: A historical perspective on divalent cation trends in red spruce stemwood and the hypothetical relationship to acidic deposition. Can. J. For. Res. 20, 1950-1958.

BOSSHARD H. H., 1974: Holzkunde, Bd. 2, Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. Verlag Birkhäuser, Basel und Stuttgart.

DÄSSLER H.- G., BÖRTITZ S., 1988: Air pollution and its influence on vegetation. VEB G. Fischer, Jena.

DONELLY J. R., SHANE J. B. & SCHABERG P. G., 1990: Lead mobility within the xylem of red spruce seedlings: Implications for the development of pollution histories. J. Environ. Qual. 19, 268-271.

ECKSTEIN D., BREYNE A., ANIOL R. W. & LIESE W., 1981: Dendroklimatologische Untersuchungen zur Entwicklung von Straßenbäumen. Forstw. Cbl. 100, 381-396.

FARMER A. M., 1993: The effects of dust on vegetation — A review. Environ. Pollut. 79, 63-75.

GLAVAC V., KOENIES H. & EBBEN U., 1990: Seasonal variation and axial distribution of cadmium concentrations in trunk xylem sap of beech trees (*Fagus sylvatica* L.). Angew. Bot. 64, 357-364.

GOLDSTEIN J. I., NEWBURY D. E., ECHLIN P., JOY D. C., FIORI C. & LIFSHIN E., 1984: Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Plenum Press, New York, London.

JAUNIN F., ROUELLE-ROSSIER V. B. & HOFER R.-M., 1991: Cytochemical and X-ray microanalytical studies of calcium in the extending zone, particularly in the rhizodermis of *Zea mays* roots. Physiol. Plant. 81, 15-23.

KLEIN P. & ECKSTEIN D., 1988: Die Dendrochronologie und ihre Anwendung. Spektrum der Wissenschaft, Januar, 56-68.

KUČERA L. & KUČERA J., 1967: Anatomische Studie über die Entwicklung und Verteilung der Markstrahlen bei der Tanne (*Abies alba* MILL.). I. Charakteristik der Anfangsentwicklung des Markstrahles. Dřev. Výsk. 4, 179-189.

LÄUCHLI A., SPURR A. R. & EPSTEIN E., 1971: Lateral movement of ions into the xylem of corn roots. II. Evalution of a stelar pump. Plant Physiol. 48, 118-124.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

MAIER R., 1992: Pflanzen im Lebensraum Stadt. Sonderdruck aus Veröffentlichungen der Kommission für Humanökologie. Verlag Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien.

MEISCH H.- U., KESSLER M., REINLE W. & WAGNER A., 1986: Distribution of metals in annual rings of the beech *(Fagus sylvatica)* as an expression of environmental changes. Experientia 42, 537-542.

MEYER F. H., 1982: Lebensbedingungen der Stadtbäume. In: MEYER F. H. (Ed.), Bäume in der Stadt, p. 84-133. Ulmer, Stuttgart.

TENDEL J. & WOLF K., 1988: Distribution of nutrients and trace elements in annual rings of pine trees *(Pinus silvestris)* as an indicator of environmental changes. Experientia 44, 975-980.

Manuskript eingelangt: 1994 04 29

Anschrift der Autoren: Univ.-Doz. Dr. Helmuth SIEGHARDT und Dr. Marie-Luise WEIDINGER, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Althanstr. 14, A- 1090 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Frueher: Verh.des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: 131

Autor(en)/Author(s): Sieghardt Helmut, Weidinger Marieluise

Artikel/Article: Mikroskopische und röntgenenergiedispersive Untersuchungen an Holzproben von Acer platanoides aus dem Stadtgebiet von Wien 141-152