

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für ökologische Chemie, Berlin-Dahlem

Zur Diagnose von Schäden an Straßenbäumen durch abiotische Belastungsfaktoren*)

On the diagnosis of damages to urban street-adjacent trees by abiotic stress factors

Von H.-O. Leh

Zusammenfassung

Die verschiedenen Belastungsfaktoren, denen die Straßenbäume ausgesetzt sind, werden besprochen und die durch deren Einwirkungen verursachten Schädigungssymptome beschrieben.

Am Standort eines Straßenbaumes sind fast durchweg mehrere Stressoren – vielfach in unterschiedlicher Kombination – gleichzeitig wirksam, so daß sich die Krankheitssymptome nichtparasitärer Genese überlagern (und häufig auch noch durch parasitär verursachte Schäden) verwischt oder überdeckt werden.

Zudem sind die Schäden, die auf Bodenverdichtungen und -abdeckungen als indirekte Folgen von Wurzel-, Rinden- und Stammschäden oder von Gasaustritten aus undichten Rohrleitungen zustande kommen, zu wenig charakteristisch (und zu wenig differenziert), als daß allein aufgrund der visuellen Symptomatik mit hinreichender Sicherheit auf die Ursache geschlossen werden könnte. Mangel an Nährstoffen oder Belastung durch Tausalz manifestiert sich zwar durch typische Blattsymptome, jedoch wird die visuelle Diagnose auch hier dadurch erschwert, daß meist weitere Stressoren auf die Bäume einwirken, so daß die charakteristischen Symptome verwischt werden und vielfach keine eindeutige Aussage möglich ist.

Aufgrund der Komplexität der vielseitigen Streßfaktoren, die auf den Baum am Straßenrandstandort einwirken, ist es leicht einsehbar, daß es so gut wie unmöglich ist, jeweils nur eine definierte Einflußgröße mit Wachstum und Vitalität eines Straßenbaumes in Beziehung zu setzen und allein aufgrund visueller Schädigungsmerkmale auf einen bestimmten, dominierenden Belastungs- oder Schadfaktor zu schließen. Um zu einer hinreichend sicheren Diagnose der am jeweiligen Standort relevanten Schädigungsursache/n zu gelangen (die als Voraussetzung für die sinnvolle Planung und Durchführung von Gegenmaßnahmen gefordert werden muß), sind vielmehr – neben einem genauen Studium des Baumumfelds – aufwendige Untersuchungen der Bodenverhältnisse sowie Analysen der Blätter (evtl. auch weiterer Kompartimente des Baumes) auf mineralische Inhaltsstoffe unumgänglich.

Abstract

Trees in urban areas, esp. along traffic roads, are frequently damaged by a lot of harmful environmental influences. In this paper a survey is given of the special causes of damages (e.g. oxygen and/or water

stress, by soil covering and soil compaction, mineral deficiencies, soil pollution by thawing salt, damages following gas leakages) and of the visual symptoms induced by those stress factors.

Because of the very different local and individual conditions and because of the combined influences of several disadvantageous factors to the trees, the visual symptoms are seldom adequately clear, mostly they overlap and become blurring, sometimes by parasitic damages too.

Besides this, symptoms caused by soil compaction or soil covering, in consequence of injuries to bark, stem or roots, or following leakages of gas pipes, are too low characteristic for drawing reliable conclusions to the causes of damage.

Further investigations are necessary to characterize the causes of damage. Therefore analyses of the contents of mineral elements and/or (mostly lavish) examinations of the local soil conditions are indispensable.

However, promising measures for improvement of the health conditions of street trees require knowledge of the causes of damage in each individual case.

Schäden nichtparasitärer Ursache an Straßenbäumen können auf eine ganze Reihe verschiedener standortbelastender Faktoren zurückzuführen sein. Das visuelle Schadbild ist häufig – zumeist! – Ausdruck einer Kombination der Auswirkungen mehrerer verschiedenartiger Streßfaktoren, was eine eindeutige und hinreichend sichere Diagnose außerordentlich erschwert. Insofern stellt die Aufklärung der Ursachen und kausalen Zusammenhänge von Krankheitszuständen bei Straßenbäumen eine vergleichsweise komplizierte und schwierige Aufgabe dar. Andererseits haben erfolgversprechende Maßnahmen zur Verbesserung der Standortbedingungen und damit zur Minderung der negativen Auswirkungen von Belastungs- und Schädigungsfaktoren deren Ermittlung und Quantifizierung zur Voraussetzung.

Die verschiedenen, hier relevanten Belastungsfaktoren/Schädigungsursachen und ihre Auswirkungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Bodenabdeckungen mit Asphalt, Platten, Pflaster und/oder anderen, mehr oder weniger luft- und wasserundurchlässigen Materialien bei häufig zu gering dimensionierten offenen Baumscheiben – die sogenannte „Bodenversiegelung“ – erschweren das Eindringen der Niederschläge in den Boden und verschlechtern die Wasserversorgung. Sie behindern den Gasaustausch zwischen Wurzelraum und Atmosphäre – die sogenannte „Bodenatmung“ – mit der Konsequenz, daß sich der Sauerstoffgehalt im Wurzelbereich verringert und der Kohlendioxidgehalt ansteigt. Ähnliche Auswirkungen haben *Bodenverdichtungen*, wie sie durch Befahren oder häufiges Betreten der Pflanzscheibe, aber auch als Folge von Erschütterungen des Bodens durch den Straßenverkehr zustande kommen: Das Porenvolumen, insbesondere das der Grob-

*) Vortrag anlässlich des 6. Internationalen Alleebaumkolloquiums am 21. 9. 1992 in Berlin-Dahlem.

Tab. 1. Nichtparasitäre (abiotische) Schädigungsfaktoren für Straßenbäume (Ursachen, Störungen, Auswirkungen)

Ursachen	Störungen	Auswirkungen/Schäden
Bodenabdeckungen („Bodenversiegelung“), zu gering dimensionierte Baumscheiben Bodenverdichtung, -verfestigung Einengung des Wurzelraumes durch Versorgungsleitungen	Wassermangel, Trockenstreß Behinderung des Gasaustausches = Minderung des O ₂ -Gehaltes, Anreicherung von CO ₂ im Wurzelraum Beeinträchtigung der Nährstoffaufnahme Behinderung der Wurzelentwicklung	Trockenschäden = vorzeitige Blattvergilbung und Blattverluste Verringerte Nährstoffgehalte Allgemeine Wachstumshemmung, partielles Zweigsterben, höherer Totholzanteil
Nährstoffmangel – zu geringe Nährstoffgehalte im Boden – Beeinträchtigung der Verfügbarkeit durch Überschuß anderer Mineralstoffe oder ungünstige Bodenreaktion	Unzureichende Versorgung der Kompartimente des Baumes Physiologisch ungünstige/unzuträgliche Nährstoffverhältnisse	Mangelsymptome (charakteristisch bei akuten Mangelzuständen, häufig durch Symptome anderer Ursachen überdeckt) Allgemeine Wachstumsbeeinträchtigung
Belastung durch Tausalz	Anreicherung von Tausalzkomponenten (Na ⁺ , Cl ⁻) im Boden: Bodenstrukturen Aufnahme und Akkumulation von Na ⁺ und Cl ⁻ in phytotoxischen Konzentrationen (Störungen im Wasser- und Nährstoffhaushalt)	Charakteristische Schädigungssymptome an Blättern (bisweilen durch Symptome anderer Ursachen verwischt) Bei starker/anhaltender Belastung vorzeitiger Blattabwurf, partielles Zweigsterben, erhöhter Totholzanteil Regeneration nach Tausalzstopp möglich
Gasaustritte (Stadtgas, Erdgas)	Verdrängung von O ₂ , Anreicherung von CO ₂ (in akuten Fällen auch CH ₄) Reduzierende Bodenverhältnisse, Bodenstrukturen, übler Geruch durch Stoffwechselprodukte anaerober Mikroorganismen	Hemmung der Blattentwicklung, Kleinblättrigkeit, verringerte Belaubungsdichte, durchsichtige Krone (z. T. chlorotische Blattauffhellung) In akuten Fällen Welken und Absterben der Blätter (partiell oder total) Absterben von Zweig- und Astpartien bzw. des ganzen Baumes Letale Wurzelschäden (partiell oder total) Keine Regenerationsfähigkeit!
Wurzelschäden/-verluste durch Tiefbauarbeiten Rinden- und Stammschäden – mechanisch: Kraftfahrzeuge, Bauarbeiten – chemisch: Hundeurin	Behinderung der Wasser- und Nährstoffaufnahme Erhöhte Anfälligkeit für Infektionen durch pathogene Organismen Behinderung des Wasser-, Nährstoff- und Assimilattransports Erhöhte Infektionsgefahr	Trockenschäden, Nährstoffmangel Allgemeine Wachstumshemmung, partielles Zweigsterben, höherer Totholzanteil (Stamm- und/oder Wurzelfäulen nach Infektion durch holzerstörende Pilze, z. T. Fruchtkörperentwicklung)
Immissionen (Gase, Aerosole, Stäube)	Unmittelbare Schädigungen durch NO ₂ /NO _x , (PAN, O ₃), SO ₂ , (HF) Verschmutzung der Blattoberflächen durch Staubablagerungen Beeinträchtigung von Stoffwechselprozessen	Blattschäden, meist unspezifisch bzw. durch Symptome anderer Ursachen überdeckt Allgemeine Wachstumsbeeinträchtigung

und Mittelporen, wird reduziert, die Fähigkeit des Bodens zur Aufnahme und Speicherung des Niederschlagswassers verringert und die Durchwurzelung des verdichteten Bodens erschwert (GREGOR, 1982, GUTTMANN, 1988, KRIETER, 1986, KRIETER et al., 1987, FELLEBERG, 1984, 1991, SPEERSCHNEIDER et al., 1991).

Die visuellen Symptome sind weitgehend unspezifisch. Das Triebwachstum ist vermindert, die Zuwachsleistung bleibt gering, die Blätter erreichen meist nicht ihre normale Größe, die Krone ist schütter belaubt. Ein mehr oder weniger großer Teil der älteren Blätter vergilbt (Abb. 1) und wird vorzeitig abgeworfen, ganze Astpartien können absterben, so daß die Bäume einen erhöhten Totholzanteil aufweisen.

Die Gestaltung des Baumumfeldes kann Hinweise auf die Schädigungsursache geben, eine eindeutige Diagnose ist jedoch nur aufgrund aufwendiger Bodenuntersuchungen möglich, die die Ermittlung des Ausmaßes der Bodenverdichtung, des O₂- und CO₂-Gehaltes der Bodenluft und des Bodenwassergerhaltes (zu verschiedenen Zeitpunkten in Abhängigkeit von der Niederschlagsverteilung) beinhalten müssen.

Ähnliche, unspezifische Schadbilder können indessen auch Folgen von Wurzelverletzungen oder Rinden- bzw. Stammschäden sein, wie sie bei Tiefbauarbeiten im Straßenraum oder durch Kraftfahrzeuge sehr häufig verursacht werden, desgleichen Stammverätzungen durch Hundeurin, die Borke, Rinde und schließlich auch das Kambium zerstören. Aufnahme und apikaler Transport von Wasser und Nährstoffen werden durch derartige Verletzungen ebenso behindert wie der basalwärts gerichtete Transport von Assimilaten. Zudem stellen solche Wunden Eintrittspforten für phytopathogene Organismen, besonders für holzerstörende Pilze, dar (FIETZ, 1984, BUTIN, 1987, WAWRA, 1987, BALDER, 1988, 1990 a, b, WEGHAUS, 1988, DUJESIEFEN, 1992). *Nährstoffmangel*, zumindest eine Unterversorgung mit essentiellen Mineralstoffen, ist bei Straßenbäumen weit verbreitet, wird indessen in „reiner Form“ relativ selten auffällig, weil die typischen Mangelsymptome meist durch andere Symptome überlagert und somit überdeckt werden – etwa durch Trockenschäden, Tausalzschäden oder Blattschäden parasitärer Ursache, z. B. pilzliche Blattfleckenreger durch Spinnmilbenbefall.

Die für Nährstoffmangel charakteristischen Blattsymptome findet man häufiger an Bäumen in Parkanlagen als an Straßenbäumen, bei Straßenbäumen bisweilen an Stamm- und Wurzelaustrrieben.

Kaliummangel ist charakterisiert durch das Auftreten zahlreicher punktförmiger, dunkel- bis schwarzbrauner Nekrosen an der Spitze und am Rand des Blattes (Abb. 2), die sich bei stärkerem oder anhaltendem Mangel in die Interkostalfelder hinein ausdehnen und – wiederum zunächst entlang des Blattrandes – zu flächigen Nekrosen zusammenfließen. Nicht selten (besonders auffällig bei Kastanien) schließt sich an den nekrotischen Blattrand eine chlorotische Übergangszone zu dem noch grünen Gewebe an, was zur Verwechslung der Mangelsymptome mit solchen als Folge von Tausalzbelastung führen kann.

Bei Magnesiummangel entwickeln sich zunächst Chlorosen innerhalb der Interkostalfelder (Abb. 3), die bei stärkerem oder anhaltendem Mangel in flächige Nekrosen übergehen. Der partielle Gewebeausfall kann Deformationen der Blattspreite zur Folge haben.

Von Kalium- und/oder Magnesiummangelsymptomen werden regelmäßig die ältesten Blätter, bei Bäumen die basalen Blätter der Triebe, zuerst betroffen. Mg-Mangelsymptome sind nicht selten in verschiedenen Bereichen der Baumkrone in unterschiedlich starker Intensität ausgeprägt. Bisweilen sind Kalium- und Magnesiummangel an Straßen- oder Parkbäumen gleichzeitig vorhanden, was die visuelle Diagnose erheblich erschwert.

Stickstoffmangel, der sich in einer mehr oder weniger auffälligen Aufhellung der gesamten Blattspreite äußert, tritt bei Straßenbäumen nur in Ausnahmefällen in Erscheinung. Verschiedentlich wird die Auffassung vertreten, daß die Zufuhr von Stickstoff in Form von atmosphärischen Einträgen (NO_x) ausreicht, um den Bedarf der Bäume zu decken. Zwar ist dies durch experimentelle Untersuchungen nicht hinreichend sicher belegt, vielmehr handelt es sich um Hochrechnungen auf der Grundlage der Mengen N-haltiger Emissionen aus Kfz-Abgasen, Kraftwerken und industriellen Quellen und der sich daraus ergebenden N-Einträge (z. B. ADAM, 1988, BRÜMMER in Scheffer/Schachtschabel 1989, BLUME, 1990), sowie aus Rückschlüssen aus pflanzensoziologischen Erhebungen (vergleichsweise hoher Anteil an N-Zeigerpflanzen in Großstädten, vgl. WITTIG, 1991).

Indessen sprechen die Ergebnisse zahlreicher Blattanalysen dafür, daß einem primären N-Mangel bei Straßenbäumen keine sonderliche Bedeutung zukommt. Die bisher bekannten Analysenwerte liegen mit wenigen Ausnahmen im Bereich der für ausreichende Versorgung anzusetzenden Referenzwerte (vgl. BERGMANN, 1988), z. T. sogar deutlich darüber (z. B. STACH, 1969, GLATZEL und KRAPPENBAUER, 1975, LEH und SÜNDER, 1988, HABERMANN, 1989, BRAUN et al., 1990).

Indessen kann das Symptombild des Stickstoffmangels (mit entsprechend verminderten Blatt-Stickstoff-Gehalten) bisweilen an Bäumen in Erscheinung treten, die von einem mehr oder weniger ausgedehnten Rinden- oder Stammschaden betroffen sind.

Eine Unterversorgung mit einem oder mehreren Nährstoffen, die noch nicht zur Ausbildung typischer Mangelsymptome führt, hat eine allgemeine Wachstumsbeeinträchtigung zur Folge und kann in physiologischem Sinne auch durch Überschuß eines anderen Mineralstoffes verursacht werden. Dies ist in Straßenrandböden, die meist zu hohe Calciumgehalte und mit zu hohen pH-Werten eine für die Bäume ungünstige Bodenreaktion aufweisen, häufig gegeben.

Als Beispiel dafür kann der (induzierte) Eisenmangel dienen, der insbesondere bei Roteichen auf kalkreichen Standorten mit alkalischer Bodenreaktion gelegentlich zu beobachten ist, indessen im Siedlungsgrün häufiger als an Straßenbäumen (LEH, 1991).

Bodenanalysen auf Gehalte an essentiellen Mineralstoffen sind allein nicht ausreichend, um den Nährstoffstatus beurteilen und bewerten zu können. Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß zwischen Boden- und Blattgehalten häufig keine Korrelationen bestehen, da die Nährstoffverfügbarkeit und -aufnahme von verschiedenen standortspezifischen Bodenfaktoren stark beeinflusst wird (PFEIFFER, 1985, BROD, 1987, 1988, LEH, 1989, HABERMANN, 1989). Somit ist den Blattanalysen (den sogenannten „Blattspiegelwerten“) die größere Aussagekraft beizumessen.

Es sind Anhaltspunkte dafür vorhanden, daß auch essentielle Spuren- oder Mikronährstoffe in Straßenrandböden und/oder im Baum selbst nicht immer in ausreichender Menge vorhanden sind. Dies gilt insbesondere für Mangan und Zink, z. T. auch für Kupfer und Eisen (STACH, 1969, PFEIFFER, 1985, LEH und SÜNDER, 1989, BRAUN et al., 1990, TIEBECK, 1992), jedoch reichen die wenigen bisher vorliegenden Untersuchungsbefunde für eine hinreichend sichere Beurteilung noch nicht aus. Die Frage der Spurennährstoffversorgung von Straßenbäumen bedarf weiterer Untersuchungen unter Berücksichtigung sowohl pedologischer als auch stoffwechselphysiologischer Aspekte.

Schäden als Folge von Tausalzbelastung sind im allgemeinen anhand recht charakteristischer Blattsymptome relativ gut zu diagnostizieren. Die Schädigungssymptome sind in der Literatur wiederholt im einzelnen beschrieben worden (z. B. RUGE, 1971, GLATZEL und KRAPPENBAUER, 1975, LEH, 1973, 1975, 1992), so daß auf eine nochmalige Darstellung an dieser Stelle verzichtet werden kann.

Fehldiagnosen aufgrund der visuellen Symptome sind indessen auch hier nicht völlig auszuschließen, da die Blattsymptome, insbesondere bei Ahorn, leicht mit Trockenschäden verwechselt werden können (Abb. 5). Bei Kastanien sind die durch die Akkumulation von Tausalzkomponenten bewirkten Blattrandschäden solchen durch Kaliummangel recht ähnlich (Abb. 4).

Dies erklärt sich relativ zwanglos daraus, daß eine Tausalzbelastung u. a. den Wasserhaushalt nachteilig beeinflusst und erhöhte Chlorid- und Natriumgehalte in die stoffwechselphysiologischen Funktionen des Kaliums eingreifen, ohne daß damit zwangsläufig verminderte Kaliumgehalte einhergehen müssen (ZOLG und BORNKAMM, 1983 a, b, PFEIFFER, 1985, HABERMANN, 1989, BRAUN et al., 1990).

Morphologisch-anatomische und ultrastrukturelle Veränderungen an/in salzgeschädigten Blättern sind u. a. von LONGSTRETH und NOBEL (1979) und STÖLZER (1983) beschrieben worden.

Stark salzgeschädigte Bäume, die einen großen Teil ihrer ersten Blattgarnitur schon frühzeitig verloren haben, treiben häufig im Laufe der Vegetationsperiode aus den ruhenden („schlafenden“) Seitenknospen nochmals neu durch, jedoch werden die nachgetriebenen Blätter rasch wieder von Schäden betroffen. Diese erneute Blatentwicklung ist indessen nicht als Kriterium für einen Tausalzschaden brauchbar, da eine solche z. B. auch nach vorausgegangenem starkem Spinnmilbenbefall und dadurch verursachten vorzeitigen Blattverlusten eintreten kann.

Zur Absicherung der visuellen Diagnose sollte daher stets das Ausmaß der Akkumulation von Chlorid und Natrium anhand von Blattanalysen ermittelt werden.

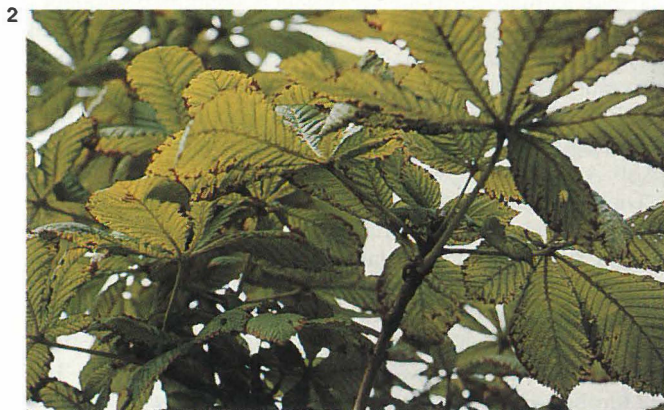
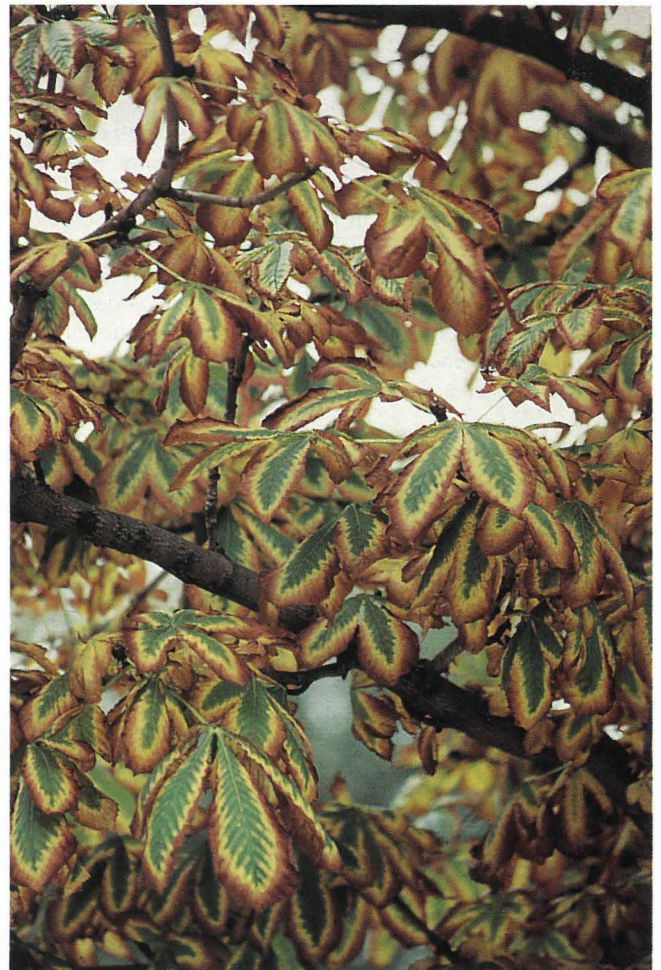


Abb. 1. Schäden an Linden (vorwiegend Trockenschäden) infolge extrem schlechter Standortbedingungen: Eingepflasterte, viel zu kleine Baumscheiben innerhalb der Kfz-Abstellflächen; Fugen zwischen Pflastersteinen mit Asphalt vergossen.

Abb. 2. Symptome des Kaliummangels an Roßkastanie.

Abb. 3. Symptome des Magnesiummangels an Spitzahorn.

Abb. 4. Schäden durch Tausalzbelastung an Roßkastanie – vgl. K-Mangel (Abb. 2).

Abb. 5. Schäden durch Tausalzbelastung an Spitzahorn.

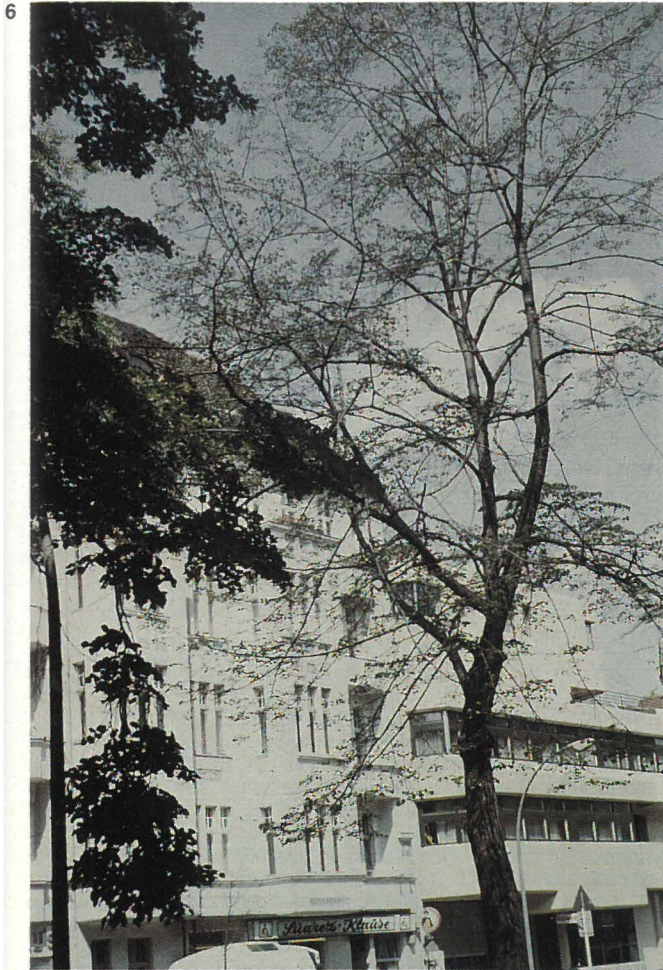


Abb. 6. Gasfolgeschaden an Linde.

Abb. 7. Schadbild an Linde als Folge eines ausgedehnten Rinden-/Stammschadens – ähnlich Gasfolgeschaden (vgl. Abb. 6).

Abb. 8. Erdgasfolgeschaden an Roßkastanie.

Abb. 9. Schadbild an Kastanie nach Befall von Wurzeln und Stamm-basis durch Hallimasch (Nachweis: Pflanzenschutzamt Berlin) – ähnlich Gasfolgeschaden (vgl. Abb. 8). (Alle Aufnahmen vom Verfasser.)

Bei der Interpretation und Bewertung der Analyseergebnisse muß – ebenso wie bei Blattanalysen auf Nährstoffgehalte – unbedingt der Zeitpunkt der Probenentnahme berücksichtigt werden, da sich die Mineralstoffgehalte im Laufe der Vegetationsperiode in nicht unerheblichem Maße verändern, worauf neben physiologischen und pedogenen Faktoren auch der Witterungsverlauf wesentlichen Einfluß nimmt (z. B. GUHA und MITCHELL, 1966, FIEDLER et al., 1973, BROD und SPEERSCHNEIDER, 1989, SCHULZ, 1992).

In sehr erheblichem Umfang haben wir es heute – insbesondere in den Ostberliner Bezirken – (aber nicht nur dort) – mit *Baumschäden als Folge von Gasaustritten* aus undichten Rohrleitungen zu tun.

Die je nach den jeweiligen Randbedingungen im Einzelfall sehr verschiedenartigen Schadbilder, wie sie als Folge der durch Erd- oder Stadtgas induzierten Milieuänderungen im Boden mit nachfolgenden Wurzelschäden an den oberirdischen Teilen der Straßenbäume evident werden (wie z. B. spärliche Belaubung, auffällige Kleinblättrigkeit, Durchsichtigwerden der Baumkrone (Abb. 6 u. 8), partielles Welken von Blättern innerhalb der Krone oder plötzliches Verwelken und Absterben des gesamten Laubwerks nach akuten Gasaustritten) sind bereits in früheren Veröffentlichungen detailliert beschrieben worden (z. B. LEH, 1991, 1992), so daß darauf hier nicht näher eingegangen werden muß.

Bedingt durch die Verschiedenartigkeit der Schadbilder ist es kaum möglich, allein aufgrund der äußeren Symptome mit hinreichender Sicherheit auf einen Gasschaden (besser: Gasfolgeschaden) zu schließen. Dazu bedarf es (aufwendiger) Messungen der Gas- bzw. Methan-, Sauerstoff- und Kohlendioxid-Konzentrationen in der Bodenluft, wofür heute tragbare, netzunabhängige Meßgeräte zur Verfügung stehen. Untersuchungen des Bodens auf Strukturveränderungen und der Wurzeln auf Verfallungen und Vitalitätsverlust können zusätzlich zur Absicherung der Diagnose herangezogen werden.

Die Diagnose von Folgeschäden nach Gasaustritten allein aufgrund äußerer Symptome ist auch deswegen nicht hinreichend sicher, weil andere Ursachen zu sehr ähnlichen Schadbildern führen können. So wurde z. B. gefunden, daß ein großflächiger Rinden- bzw. Stammschaden an einer Linde für Kleinblättrigkeit und Kronenverlichtung ursächlich war, möglicherweise in Verbindung mit sekundärem Befall durch holzerstörende Pilze. Wurzelinfektionen durch *Hallimasch (Armillaria mellea)* an Kastanien sowie ein (offensichtlich von einer älteren Rindenverletzung im basalen Stammbereich ausgehender) Befall durch Wurzelschwamm (*Heterobasidium annosum*) an einer Schwedischen Mehlbeere (LEH, 1992) verursachten ebenfalls Symptome im Kronenbereich der betroffenen Bäume, die zunächst Gasfolgeschäden vermuten ließen (vgl. Abb. 6, 7, 8, 9).

Über die Bedeutung von *Luftverunreinigungen* (Gase, Aerosole, Stäube) als Schadfaktoren für Straßenbäume ist bisher vergleichsweise wenig bekannt. Indessen dürfte es kaum zweifelhaft sein, daß erhöhte Konzentrationen an NO₂ und/oder SO₂, wie sie in belasteten Bereichen auftreten, phytotoxische Wirkungen auf die Bäume ausüben, zumal dann, wenn diese durch andere ungünstige Standortfaktoren bereits in ihrer Vitalität beeinträchtigt sind (z. B. HÖLLWARTH, 1981 a, b, WELLBURN et al., 1981, WAWRIK, 1986, WIENHAUS et al., 1993). An Straßenrandstandorten ist in diesem Zusammenhang der atmosphärischen Belastung durch NO/NO₂ sowie durch Photooxidantien (PAN, O₃) besondere Beachtung zu schenken (HOCK und ELSTNER, 1984, JUST, 1992). Verschiedene stoffwechselphysiologische Veränderungen

unter dem Einfluß von Luftverunreinigungen (SO₂, O₃, NO_x), die im Sinne einer vorzeitigen Seneszenz interpretiert werden müssen, wurden kürzlich nachgewiesen (BALLACH et al., 1992). Auch Staubablagerungen führen zu physiologischen Streßzuständen, die sich auf die Vitalität und damit auf die ökologischen Funktionen der Bäume nachteilig auswirken (FOCKE, 1992).

Es dürfte so gut wie unmöglich sein, Straßensaumschäden als Folge des Einflusses von Luftverunreinigungen anhand visueller Symptome eindeutig zu diagnostizieren. Blattschäden durch Einwirkung gasförmiger Immissionen sind im allgemeinen nicht sonderlich charakteristisch und können leicht mit solchen anderer Ursache verwechselt werden (vgl. HARTMANN et al., 1988). Ihre Vergesellschaftung mit anderen Stressoren, wie sie auf die Bäume am Straßenrand einwirken, steht einer visuellen Diagnose zusätzlich entgegen. Auch hier ist die chemische Analyse auf Blattinhaltsstoffe der einzig erfolgversprechende Weg zur Erhellung der kausalen Zusammenhänge (BUTIN, 1989).

Erkenntnisse über Art und Konzentration luftbelastender Stoffe können zusätzlich hilfreich sein, wobei auch das Auftreten kurzzeitiger Belastungsspitzen zu berücksichtigen ist (JUST, 1992).

Literatur

- ADAM, K., 1988: Stadtökologie in Stichworten. F. Hirt, Unterägeri.
BALDER, H., 1988: Wurzelverletzungen als häufige Ursache von Baumschäden in der Stadt. *Das Gartenamt* 37, 625–627.
BALDER, H., 1990a: Wurzelschutz von Bäumen – Theorie und Praxis. *Neue Landschaft* 35, 538–543.
BALDER, H., 1990b: Hundeurin als Schadagens an Bäumen. *Das Gartenamt* 39, 736–738.
BALLACH, H.-J., J. MOOI und R. WITTIG, 1992: Premature aging in *Populus nigra* L. after exposure to air pollutants. *Angew. Bot.* 66, 14–20.
BERGMANN, W. (Hrsg.), 1988: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung visuelle und analytische Diagnose. 2. Aufl., Stuttgart, New York, G. Fischer.
BLUME, H.-P., 1990: Handbuch des Bodenschutzes. Landsb./Lech, ecomed.
BRAUN, C. (unter Mitarb. v. R. ALBERT u. W. PILLMANN), 1990: Der Zustand der Wiener Stadtbäume. Interpretation des Kronenzustandes und vergleichende Untersuchung des Mineralstoffhaushaltes. Österr. Bundesinst. für Gesundheitswesen, Wien.
BROD, H. G., 1987: Beziehung zwischen Nährstoffversorgung des Bodens und Mineralstoffgehalten in Bäumen innerstädtischer Alleebaumstandorte. Referat anl. d. Koll. „Diagnose u. Therapie von Schäden im Bereich straßennaher Baumstandorte“, Bayreuth, Nov. 1987.
BROD, H. G., 1988: Nährstoffversorgung inner- und außerörtlicher Einzelbaumstandorte. Referat anl. d. Symp. „Der Alleebaum in der Stadt“, Wien, Okt. 1988.
BROD, H. G. und R. SPEERSCHNEIDER, 1989: Zeitlicher Verlauf der Na- und Cl-Gehalte im Boden und in Blättern zweier unterschiedlich verdichteter Alleebaumstandorte. *Kali-Briefe (Büntehof)* 19, 803–815.
BRÜMMER, G., 1989: Schadstoffe. In: SCHEFFER, F. u. P. SCHACHTSCHABEL, Lehrbuch der Bodenkunde, 12. Aufl., Stuttgart, F. Enke, Kap. XXII.
BUTIN, H., 1987: Pilzliche Baumschäden und ihre Urheber: Gefäß- und Welkekrankheiten – Holzerstörende Pilze – Abwehrreaktionen des Baumes. Referat anl. d. 5. Osnabrücker Baumpflegetage, Sept. 1987.
BUTIN, H., 1989: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. 2. Aufl., Stuttgart, New York, G. Thieme.
DUJESIEFKEN, D., 1992: Baumschäden als Folge von Tiefbaumaßnahmen – Schutz von Bäumen im Bereich von Baustellen. Referat anl. d. 6. Internat. Alleebaumkoll., Berlin, Sept. 1992.
FELLENBERG, G., 1984: Stadtökologie. *Naturwissensch.* 71, 393–403.
FELLENBERG, G., 1991: Lebensraum Stadt. Stuttgart, B. G. Teubner.
FIEDLER, H. J., W. NEBE und F. HOFFMANN, 1973: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Stuttgart, G. Fischer, p. 31–49.
FIETZ, M., 1984: Lebensbedingungen von Straßenbäumen in Berlin-Neukölln. *Berl. Geowiss. Abh. (C)* 3, 53–64.

- FOCKE, U., 1992: Unterschiedliche Blattverschmutzungsgrade bei Straßenbaumarten – Ursachen und Auswirkungen auf Wachstum und Vitalität. Referat anl. d. 6. Internat. Alleebaumkoll., Berlin, Sept. 1992.
- GLATZEL, G. und A. KRAPPENBAUER, 1975: Streusalzschäden am Baumbestand der Straßen in Wien. Inst. f. forstl. Standortforsch. d. Hochsch. f. Bodenkultur Wien, 52 S.
- GREGOR, H.-D., 1982: Wo und wodurch ist der Stadtbaum gefährdet? Das Gartenamt 31, 644–655.
- GUHA, M. M. und R. L. MITCHELL, 1966: The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. II. Seasonal changes. Plant and Soil 24, 90–112.
- GUTTMANN, R., 1988: Grün zwischen Steinen. Stuttgart, Franckh'sche Verl.-Buchhandl.
- HABERMANN, P.-M., 1989: Untersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Düngerformen im Bereich verkehrsexponierter Baumstandorte. Diss. Univ. Bayreuth, 147 S.
- HABERMANN, P.-M., 1990: Beziehungen zwischen Standortsituation, Streßbelastung und Wirksamkeit von Düngungsmaßnahmen im innerstädtischen Straßenrandbereich. Das Gartenamt 39, 575–580.
- HARTMANN, G., P. NIENHAUS und H. BUTIN, 1988: Farbatlas Waldschäden. Diagnose von Baumkrankheiten, Stuttgart, E. Ulmer.
- HOCK, B. und E. ELSTNER (Hrsg.), 1984: Pflanzentoxikologie. Der Einfluß von Schadstoffen und Schadwirkungen auf Pflanzen. Mannheim, Wien, Zürich, Bibliograph. Inst.
- HÖLLWARTH, M., 1981 a: Physiologische Reaktionen in Pflanzen städtischer Standorte unterschiedlicher Immissionsbelastung. Angew. Bot. 55, 21–27.
- HÖLLWARTH, M., 1981 b: Zur Verwendung physiologischer Parameter zur Charakterisierung immissionsbelasteter städtischer Standorte. Angew. Bot. 55, 195–209.
- JUST, K. D., 1992: Untersuchung von Wachstum und Vitalität an Bäumen im Braunschweiger Stadtgebiet. Diss. Univ. Braunschw., 131 S.
- KRIETER, M., 1986: Untersuchungen von Bodeneigenschaften und Wurzelverteilungen an Straßenbaumstandorten (Linde) – Kurzfassung. Das Gartenamt 35, 676–678.
- KRIETER, M., A. BILL und G. WÜRDIG, 1987: Standortoptimierung von Straßenbäumen. Berichtsbände T. 1, 2 u. 3 a, d. Untersuchungsreihe d. FLL-Arbeitsgr. „Straßenbäume“ in Zusammenarbeit m. d. Umweltforsch. – Stat. d. Geogr. Inst. d. Univ. Mainz.
- LEH, H.-O., 1973: Untersuchungen über die Auswirkungen der Anwendung von Natriumchlorid als Auftaumittel auf die Straßenbäume in Berlin. Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzd. (Braunschw.) 25, 163–170.
- LEH, H.-O., 1975: Die Gefährdung der Straßenbäume durch Auftausalz. Dt. Baumschule 27, 250–253.
- LEH, H.-O., 1989: Innerstädtische Streßfaktoren und ihre Auswirkungen auf Straßenbäume. Kali-Briefe (Büntehof) 19, 719–742.
- LEH, H.-O., 1991: Diagnose nichtparasitärer Umweltschäden bei Pflanzen und Wege zu Sanierungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Belastungssituation des innerstädtischen Grüns. Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzd. 43, 3–9.
- LEH, H.-O., 1992: Auswirkungen innerstädtischer Streßfaktoren auf Straßenbäume. Gesunde Pfl. 44, 283–291.
- LEH, H.-O. und A. SÜNDER, 1988: Untersuchungen zur Ermittlung der Ursachen von Schäden an Straßenbäumen in Berlin sowie Erarbeitung/Erprobung von Gegenmaßnahmen. Gutachtenauftr. Senatsverw. Stadtentwickl. Umweltsch. Berlin, Vorl. Abschlußbericht (Dez. 1988).
- LEH, H.-O. und A. SÜNDER, 1989: Erfolgskontrolle und Weiterbeobachtung der im Rahmen des Gutachtenauftrages „Untersuchungen zur Ermittlung der Ursachen von Schäden an Straßenbäumen in Berlin . . .“ angelegten Versuche. Gutachtenauftr. Senatsverw. Stadtentwickl. Umweltsch. Berlin, Abschlußbericht (Dez. 1989).
- LONGSTRETH, D. J. und P. S. NOBEL, 1979: Salinity effects on leaf anatomy. Plant Physiol. 63, 700–703.
- PFEIFFER, E.-M., 1985: Veränderungen der Ionengehalte streusalzgeschädigter Straßenbäume durch Bodenansäuerung im Hamburger Stadtgebiet. Hamburg. Bodenkundl. Arb. Bd. 4.
- RUGE, U., 1971: Erkennen und Verhindern von Auftausalz-Schäden an Straßenbäumen der Großstädte. Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) 23, 133–137.
- SCHULZ, R., 1992: Probenahmen an streusalzgeschädigten Straßenbäumen. Bedeutung des Probenahmezeitpunktes für die Interpretation von Ergebnissen der Pflanzenanalyse. Das Gartenamt 41, 488–494.
- SPEERSCHNEIDER, R., H. G. BROD und K. H. HARTGE, 1991: Laterale Stoffflüsse in Böden von Alleebaumstandorten als Folge von Versiegelungsunterschieden. Mitteil. Dt. Bodenkundl. Ges. 66, 233–236.
- STACH, W., 1969: Untersuchung über die Auswirkung der Winterstreuung und anderer ernährungsphysiologischer Faktoren auf die Straßenbäume der Hamburger Innenstadt. Diss. Univ. Hamburg, 100 S.
- STÖLZER, J., 1983: Anatomische Reaktionen auf die Einwirkung unterschiedlicher Schadstoffe an Blättern von Tilia platyphyllos SCOP. Arch. Natursh. u. Landschaftsforsch. 23, 99–106, 127–131.
- TIEBECK, K., 1992: Untersuchungen über den Versorgungszustand Berliner Straßenbäume mit Spurennährstoffen und über die Belastung durch umweltrelevante Schwermetalle. Diplomarb. Freie Univ. Berlin, FB Pflanzenphysiol.
- WAWRA, A., 1987: Pilzliche Baumschäden. Dtsch. Gartenbau 41, 2746–2748.
- WAWRIK, H., 1986: Auswirkungen von Luftverschmutzung und Schadstoffbelastung im öffentlichen und privaten Grün. Das Gartenamt 35, 608–618.
- WEGHAUS, H. T., 1988: Schutz von Bäumen bei Baumaßnahmen. Dtsch. Gartenbau 42, 1184.
- WELLBURN, A. R., C. HIGGINSON, D. ROBINSON und C. WALMSLEY, 1981: Biochemical explanations of more than additive inhibitory effects of low atmospheric levels of sulphur dioxide plus nitrogen dioxide upon plants. New Phytologist 88, 223–237.
- WIENHAUS, O., H.-G. DÄSSLER und S. BÖRTITZ, 1993: Probleme und Erfahrungen zur Frage der Beteiligung von Luftverunreinigungen an der Schädigung von Straßenbäumen in der ehemaligen DDR. Gesunde Pfl. 45, 26–29.
- WITTIG, R., 1991: Ökologie der Großstadtflorea. Stuttgart, G. Fischer (UTB 1587).
- ZOLG, M. und R. BORNKAMM, 1983a: Über die Auswirkung von Streusalz auf einige Blattinhaltsstoffe verschiedener Straßenbaumarten. Flora 174, 285–302.
- ZOLG, M. und R. BORNKAMM, 1983b: Über die Auswirkung von Streusalz auf die Alterung der Blätter verschiedener Straßenbaumarten. Flora 174, 377–404.