Botanik und Naturschutz in Hessen 2, 5-48, Frankfurt am Main 1988.

Die Wirkung von Luftverunreinigungen aus Verbrennungsmotoren auf den Frankfurter Stadtwald unter ökologisch-vegetationskundlichem Aspekt*

Theodor Gies, Heinz Braun & Alexander von Küchler

Zusammenfassung: Mittels pflanzensoziologischer, biometrischer und ökologischer Verfahren sollen mögliche Koinzidenzen zwischen Luftverunreinigungen aus Verbrennungsmotoren und Vegetationsschäden im Frankfurter Stadtwald aufgezeigt werden. Hierbei wird angestrebt, die Ergebnisse der ökologisch-vegetationskundlichen Untersuchungen im Rahmen einer Verbundforschung mit luftchemischen Befunden korrelieren zu können.
Es wurde ein Vitalitätsquotient entwickelt, der die Schadensbeurteilung unbelaubter Wipfeltriebe von Rotbuchen am lebenden Baum anhand einer kontinuierlichen Skala erlaubt, wobei fotografische Aufnahmen als Grundlage der Berechnung dienten.
Auf vier Transekten wurden Schwermetallgehalte untersucht.

The effect of pollution caused by internal combustion engines on the emironnent and vegetation in Frankfurt's forest.

Summary: Using biometric methods, ecological methods and methods of plant sociology, attempts were made to demonstrate possible connections between pollution levels in the air caused by internal combustion engines and the damage sustained by the vegetation in Frankfurt's forest. Efforts were made to correlate the results of the tests carried out on the environment and vegetation within the framework of integrated research with the results of tests carried out to establish the chemical construction of the air.
A vitality quotient was developed, making it possible to assess on a continuous scale the extent of the damage sustained by the bare shoots on the tops of living beeches. Photographs were used as the basis of assessment.
The heavy metal content of four transections was examined.

Th. Gies, K. Braun und A. von Küchler, Institut für Biologie - Didaktik, Sophienstraße 1-3, 6000 Frankfurt am Main 11

Einführung 6
A. Überblick über das Vorhaben 6
B. Pflanzensoziologische Untersuchungen 8
C. Erfassung und Bewertung des Zustandes der Vegetation 13
D. Ökologisch-chemische Untersuchungen 28
E. Ausblick 46
F. Literatur 47

*) Die Untersuchungen wurden durch Zuwendungen des Bundesministers für Forschung und Technologie gefördert. Hierfür sei auch an dieser Stelle bestens gedankt

Einführung

Auf den in den letzten Jahren durchgeführten Symposien über Waldschäden wurde Immer wieder deutlich, daß die Zusammenhänge zwischen Standort, Vegetation und Streßfaktoren (zum Beispiel: extreme Dürrejahre, hohe Schadgasbelastung, Schwermetalleintrag) wesentlich komplizierter sind als dies den meisten Ökologen, Physiologen und Pflanzensoziologen bisher erschien. Trotz intensiver Forschungstätigkeit sind daher zur Zeit keine „Schlüsselexperimente" zu erwarten, die die sich widersprechenden Hypothesen über Waldschäden kausalanalytisch klären könnten. Wichtige Forschungsschwerpunkte des Bundesministers für Forschung und Technologie zur Problematik „Waldschäden" und „Reinhaltung des Bodens" werden zur Zeit im norddeutschen Mittelgebirge, im Bayerischen Wald und Schwarzwald durchgeführt. Es wird stets nur bedingt möglich sein, die Ergebnisse dieser Projekte auf eine lokal anders geartete Situation wie etwa im Rhein-Main-Gebiet zu übertragen. So gehört der Raum um Frankfurt zu den Gebieten der Bundesrepublik Deutschland, in denen der Rückgang der Pflanzen- und Tierartenzahl bei mindestens 20 % liegt und somit überdurchschnittlich hoch ist. Hierbei stellt der Frankfurter Stadtwald sicherlich zugleich auch das Beispiel eines Waldgebietes dar, dessen Flora und Fauna durch Emission von Kraftfahrzeugen und Flugzeugen besonders belastet wird. Entsprechende Untersuchungen über Waldschäden erscheinen daher gerade in diesem Gebiet im Hinblick auf synergetische und antagonistische Wechselwirkungen von Stickoxyden, Kohlenwasserstoffen, Ozon und Schwermetallen wichtig.

Auf Initiative des Magistrats der Stadt Frankfurt haben daher Wissenschaftler der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Zusammenarbeit mit den städtischen Forstbehörden ein interdisziplinäres Forschungsprogramm konzipiert, mit dem das Ausmaß der Belastung durch luftgetragene (atmogene) Schadstoffe und die sich daraus ergebende Verfassung des Stadtwaldes untersucht werden soll. Nähere Einzelheiten sowie erste Ergebnisse dieses Vorhabens finden sich in den Berichten des Zentrums für Umweltforschung an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität aus den Jahren 1985/86 sowie im Bericht 1/87. Da die genannten Veröffentlichungen nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung stehen, neuere Ergebnisse über Waldschadensforschungen aus Südhessen, abgesehen von den jährlichen Waldschadensschätzungen, kaum bekannt wurden, soll im folgenden über den vegetationskundlich-ökologischen Teil des Frankfurter Stadtwald-Projektes berichtet werden.

Aus dem nordhessischen Raum liegen bereits umfangreiche Befunde durch die Arbeitsgruppe GLAVAC an der Gesamthochschule Kassel vor (siehe GLAVAC & KOENIES 1986a, b; GLAVAC &al. 1985a, b; GLAVAC 1986a, b, 1987a, b; BREDOW &al. 1986; JOCHHEIM 1985; KOENIES 1983).

A. Überblick über das Vorhaben

Ziel der Untersuchungen im Frankfurter Stadtwald ist es, mittels pflanzensoziologischer, biometrischer und ökologischer Verfahren mögliche Koinzidenzen zwischen Luftverunreinigungen aus Verbrennungsmotoren und Vegetationsschäden im

Frankfurter Stadtwald aufzuzeigen. Der Schadensverlauf soll über mehrere Jahre verfolgt werden. Hierbei wird angestrebt, die Ergebnisse der vegetationskundlichen Untersuchungen im Rahmen einer Verbundforschung mit luftchemischen Befunden korrelieren zu können.

Da die Zuweisung der benötigten Mittel am Ende der Vegetationsperiode 1985 erfolgte, entschlossen wir uns, zunächst das Laub ausgewählter Eichen- und Buchenbestände sowohl zur Erfassung und Dokumentation der Wüchsigkeit als auch zur Erfassung des Schwermetallgehaltes der Vegetation in Abhängigkeit zur Belastung durch Verkehrsstraßen zu benutzen. Aufgrund von Voruntersuchungen stellten wir 110 Laubfallen unter ausgewählten Exemplaren von der Buche (*Fagus sylvatica*) sowie der Trauben- und Stiel-Eiche (*Quercus petraea*, *Q. robur*) auf. Die Laubfallen wurden in Eigenarbeit mit Examenskandidaten angefertigt. Sie bestehen aus einem 1 m² großen mit Kunststoff-Netzen bespannten Auffangrahmen, der auf 4 starken, 1 m aus dem Boden herausragenden Holzpfählen ruht. In den Blattfallen sammelten sich im Laufe des herbstlichen Laubfalls die Blätter. Da die ausgewählten Bäume auf Transekten stehen, die von unterschiedlich stark befahrenen Straßen ins Bestandesinnere führen, konnte das Untersuchungsmaterial aus diesen Fallen sowohl zur Erfassung des Zustandes der Vegetation als auch für Teilbereiche der ökologisch-chemischen Untersuchungen benutzt werden. Die Transekte liegen in folgenden Waldabteilungen (WA):

I. Buchenbestände an der Babenhäuser Landstraße in unmittelbarer Nähe des seit 1986 betriebenen Meßcontainers des Zentrums für Umweltforschung (WA 28, 35, 37; siehe Abb. 2, Baum-Nr. 71-74).
II. Buchen- und Eichenbestände nordwestlich des Autobahnanschlusses Frankfurt-Süd (WA 132, 137, 139; siehe Abb. 2, Baum-Nr. 81-90).
III. Buchen- und Eichenbestände nördlich der Autobahn A 3 und der Bundesstraße B 43 und nördlich des Flughafens (WA 291, 268, 270; siehe Abb. 2. Baum-Nr. 116-125).
IV. Buchen- und Eichenbestände nördlich der Autobahn A 3 und der Bundesstraße B 43 und nordöstlich des Frankfurter Kreuzes (WA 160, 159, 143, 144; siehe Abb. 2, Baum-Nr. 91-100).

Zu Vergleichszwecken wurden Proben aus weiteren Waldabteilungen untersucht. Im Boden sowie in ausgewählten Pflanzenorganen entlang der Transekte wurden die Gehalte an Blei, Cadmium, Zink, Calcium, Kalium, Magnesium, Kupfer, Chrom, Nickel sowie Nitrat, Sulfat und Chlorid analysiert.

Weitere Schwerpunkte der Untersuchungen dienten der Kartierung und Erfassung der Waldgesellschaften mittels pflanzensoziologischer Methoden sowie der Entwicklung und Erprobung eines Vitalitätsquotienten, der die Schadensbeurteilung unbelaubter Wipfeltriebe von Rotbuchen am lebenden Baum anhand einer kontinuierlichen Skala erlaubt. wobei fotografische Aufnahmen die Grundlage der Berechnung bilden.

Da nicht aus allen Untersuchungsbereichen gleichwertige Ergebnisse vorliegen, wird in unseren Ausführungen bewußt auf eine eingehendere Diskussion verzichtet

und der Forschungs-Zwischenbericht an den Bundesminister für Forschung und Technologie (Stand 1986) in leicht veränderter Form wiedergegeben.

B. Pflanzensoziologische Untersuchungen

1. Kartierung und Erfassung von Waldgesellschaften

In der vergangenen Vegetationsperiode wurden gezielt die im Oberwald vorkommenden Buchenbestände entsprechend der allgemein gebräuchlichen Schätzung der Abundanz und Dominanz nach BRAUN-BLANQUET erfaßt und nach der von BRAUN-BLANQUET und TÜXEN entwickelten Methode bearbeitet. Die über 100 Aufnahmen wurden bisher nach ihrer Stetigkeit geordnet. Die synsystematische Gliederung sowie die Auswertung der aufgenommenen Pflanzenbestände in Anlehnung an die von ELLENBERG (1979) aufgestellten „Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas" ist in Bearbeitung. Besonders intensiv untersucht wurde bereits 1985 die Umgebung der im vergangenen Jahr eingerichteten Luftmeßstation in der Waldabteilung 28. Dort lassen sich, wie die Tabelle 1 belegt, im Verlaufe eines von der Babenhäuser Landstraße wegführenden Transektes folgende verschiedene Ausprägungsformen innerhalb eines Melico-Fagetums unterscheiden:

- Fragmentarische Saumgesellschaften (Tab. 1, Spalte 1)

Eingezwängt zwischen Waldweg und abfallender Straßenböschung findet sich in einem 5 m breiten Streifen eine Randgesellschaft, in der das Auftreten von *Calamintha clinopodium*, *Hypericum perforatum* und *Lotus corniculatus* auf die Zugehörigkeit zur Klasse Trifolio-Geranietea hindeuten.

Ein Vergleich der gewichteten, mittleren Faktorenzahlen der Zeigerwerte nach ELLENBERG dieses Wuchsortes mit den anderen Untersuchungsflächen in Waldabteilung 28 zeigt. daß diese F1äche der hellste, trockenste und stickstoffärmste Standort ist.

- Melico-Fagetum luzuletosum (Tab. 1, Spalte 3)

Unmittelbar anschließend an Waldweg und fragmentarische Saumgesellschaft findet sich in einem etwa 30 m breiten Streifen eine nährstoffarme Subassoziation des Melico-Fagetums, wie das Auftreten von *Luzula luzuloides* und *L. sylvatica*, *Deschampsia flexuosa* und *Poa nemoralis* belegen.

- Melico-Fagetum typicum (Tab. 1, Spalten 4 bis 6)

An das Melico-Fagetum luzuletosum schließt sich ein Melico-Fagetum typicum an, das unter anderem durch eine kräftige Strauchschicht aus *Acer pseudoplatanus* ausgezeichnet wird und etwa ab 90 m Straßenentfernung in seiner typischen Ausprägung auftritt.

Tabelle 1: Pflanzensoziologische Aufnahmen der Vegetation in der Umgebung der Meßstation (Babenhäuser Landstraße, WA 28). Stand: 1985.

Nr. d. Aufnahme	1	2	3	4	5	6	7	8
Waldabt.-Nr.:	28	29	28	28	28	28	25	34
Entfernung zur Straße (m):	10	30	20	80	60	200	60	200
Höhe ü. NN (m):	142	143	142	142	142	142	131	133
Größe d. Aufnahmefl. (ha):	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3
Exposition:	S0	S0	S0	S0	S0	S0	S	S
Hangneigung (°):	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3
Baumschicht:								
Deckung (%):	60	70	80	90	90	90	90	90
Alter (Jahre):	90	137	104	104	104	104	148	150
Höhe (m):	25	30	33	33	33	33	35	30
Strauchschicht (%):	30	30	30	10	30	50	80	40
Krautschicht (%):	80	90	80	30	90	50	80	60
Artenzahl:	25	38	31	19	32	32	33	34
Gewichtete, mittlere Faktorenzahlen:								
Licht (mL')	5,44	4,73	4,58	4,06	4,08	4,12	4,03	4,02
Temperatur (mT')	5,31	5,21	5,28	5,18	5,26	5,27	5,07	5,14
Kontinentalität (mK')	3,42	3,30	3,33	3,12	3,38	3,16	3,23	3,16
Feuchtigkeit (mF')	4,64	4,97	5,04	5,07	5,34	5,36	5,43	5,32
Reaktion (mR')	5,69	5,25	5,11	5,43	6,22	6,13	6,16	5,87
Stickstoff (mN')	4,85	5,30	5,37	6,08	6,13	6,22	6,15	5,77
Baumschicht:								
Tilia platyphyllos	.	.	.	.	.	.	.	2
Fagus sylvatica	3	2	5	5	5	5	5	5
Quercus robur	1	4	+	+	+	1	+	4
Acer platanoides	1	.	.	.	.	.	.	.
Carpinus betulus	1	.	.	.	.	.	.	.
Pinus sylvestris	.	1	.	.	.	.	.	.
Strauchschicht:								
Corylus avellana	+	.	.	.	.	.	.	.
Sarothamnus scoparius	1	+	.	.	.	.	.	.
Acer campestre juv.	+	+	+	.	.	.	.	.
Carpinus betulus juv.	1	+	+	.	.	.	.	.
Acer platanoides juv.	1	+	+	.	+	+	+	1
Tilia platyphyllos juv.	2	+	+	.	+	+	+	2
Fagus sylvatica juv.	1	1	+	+	+	+	1	2
Acer pseudoplatanus juv.	+	1	1	+	2	3	4	1
Sorbus aucuparia juv.	.	+	+	+	+	+	+	+
Sambucus nigra juv.	.	+	+	+	+	+	+	+
Rubus fruticosus agg.	.	+	+	+	+	+	+	+
Ribes grossularia	.	+	.	+	+	+	+	+
Quercus robur juv.	.	+	.	.	.	.	.	1
Euonymus europaeus	.	.	.	.	.	.	.	1
Lonicera periclymenum	.	.	.	.	.	.	.	+

Nr. d. Aufnahme	1	2	3	4	5	6	7	8
Krautschicht:								
Ordnungs- und Klassen-Kennarten:								
Poa nemoralis ssp.nemoral.	2	4	4	+	1	+	+	+
Moehringia trinervia	+	+	+	+	+	+	+	+
Milium effusum	+	2	2	1	1	1	1	2
Viola reichenbachiana	+	+	1	+	1	1	1	+
Anemone nemerosa	.	+	1	+	2	1	2	3
Galium odoratum	.	+	+	+	1	1	4	2
Melica uniflora	.	3	1	+	+	+	+	+
Vinca minor	.	+	.	.	+	+	+	+
Scrophularia nodosa	.	1	.	.	+	+	+	+
Dryopteris felix-mas	.	.	.	.	+	+	+	+
Stachys sylvatica	.	.	.	.	1	+	1	+
Lamium galeobdolon ssp. montanum	.	.	.	.	3	+	4	2
Polygonatum multiflorum	.	.	.	.	+	+	+	1
Pulmonaria obscura	.	.	.	.	+	+	+	+
Circaea lutetiana	.	.	.	.	+	+	1	+
Tieflagen-Trennarten:								
Hedera helix	.	+	+	+	+	+	+	+
Stellaria holostea	.	+	.	.	2	+	+	1
Convallaria majalis	.	.	.	.	1	+	+	1
Trennarten der bodensauren Subassoziation:								
Luzula luzuloides	.	+	+	.	.	.	.	.
Luzula sylvatica ssp.sylv.	.	+	+	.	.	.	.	.
Avenella flexuosa	.	+	+	.	.	.	.	.
Sonstige Gefäßpflanzen:								
Maianthemum bifolium	.	.	.	.	.	.	.	2
Carex sylvatica	.	.	.	.	.	.	.	+
Ranunculus ficaria	.	.	.	.	.	.	.	1
Oxalis acetosella	.	.	.	.	.	.	+	.
Athyrium filix-femina	.	.	.	.	+	+	+	+
Alliaria petiolata	.	.	.	.	+	+	+	+
Quercus robur K	.	+	.	.	+	+	+	+
Fagus sylvatica K	.	+	.	+	+	+	+	+
Acer pseudoplatanus K	.	+	+	+	1	+	+	+
Mycelis muralis	.	+	1	+	+	+	+	+
Impatiens parviflora	.	2	+	2	4	2	1	+
Geranium robertianum	.	+	+	+	+	+	+	+
Polygonum dumetorum	+	+	+	.	.	.	.	.
Myosotis sylvatica	+	+	+	.	.	.	.	.
Hieracium sylvaticum	+	+	+	.	.	.	.	.
Campanula rotundifolia	+	.	+	.	.	.	.	.
Veronica chamaedrys	2	.	1	.	.	.	.	.
Vicia sepium	1	.	1	.	.	.	.	.
Hypericum perforatum	+	+	.	.	.	.	.	.
Euphorbia cyparissias	1	+	.	.	.	.	.	.

Weitere Gefäßpflanzen: Spalte 1 - Lotus corniculatus +, Calamintha clinopodium 2, Viola riviniana +, Melandrium album 1; Spalte 2 - Aster lanceolatus +, Poa nemoralis ssp. glauca +, Galeopsis tetrahit +, Epilobium obscurum +; Spalte 3 - Galium aparine +, Chaerophyllum temulum +, Epipactis helleborine +.

Nordöstlich der Meßstation stockt ein Eichenforst (Tab. 1, Spalte 2).

Von den älteren botanischen oder forstlichen Vegetationskundlern wird das Untersuchungsgebiet als Zone der randlichen Eichenmischwälder mit mäßig subkontinentalem Klima bezeichnet. Vorherrschende, naturnahe Waldgesellschaften wären nach dieser Auffassung vor allem Eichen-Hainbuchenwälder (Carpinion) und Eichen-Mischwälder (Quercion robori-petraeae) (LIPSER 1956, STREITZ 1967, KNAPP 1967). Die Wüchsigkeit der Buche sowie das weitgehende Fehlen entsprechender Carpinion-Arten (lediglich *Stellaria holostea* tritt spärlich auf) in den Aufnahmen widersprechen jedoch im Frankfurter Oberwald dieser Auffassung. Aufgrund weiterer in dieser Vegetationsperiode erstellter Aufnahmen erscheint es uns wahrscheinlich, daß die forstliche Förderung der Buchen in den letzten 100 Jahren nicht die alleinige Ursache für ihre Vorherrschaft ist. Somit dürften Buchenwälder auch im planaren Raum die potentiell-natürliche Vegetation darstellen können, wie dies auch von BOHN (1981) vertreten wird. Es erscheint daher nicht angebracht, das Auftreten der „neuartigen Waidschäden" im Stadtwald auf einen nicht standortsgemäßen Anbau der Buche zurückführen zu wollen. Wir hoffen, aufgrund weiterer, vergleichender Untersuchungen diesem Problem weiter nachgehen zu können.

In den vor kurzem erschienenen Karten (Standortkarte der Vegetation von Hessen, herausgegeben von KLAUSING & WEISS 1986, sowie der Standorttypenkarte Frankfurter Stadtwald, Forstamt Frankfurt am Main) wurden entsprechend dieser neuen Auffassung (siehe hierzu auch DIERSCHKE 1985, 1986) für den Frankfurter Stadtwald neben den bereits erwähnten Carpinion- und Quercion-Gesellschaften auch Fagion-Gesellschaften auskartiert.

2. Daueruntersuchungsfläche von Pilz- und Moosgesellschaften

Bei unseren Arbeiten stellen wir immer wieder fest, da8 die Krautvegetation des Stadtwaldes durch die zahlreichen Waldspaziergänger, Radfahrer, Jogger und Reiter stark beeinträchtigt ist. In vielen stadtnahen Waldabteilungen sind daher Daueruntersuchungsflächen, selbst wenn sie eingezäunt sind, praktisch nicht zu nutzen. Es erschien uns daher angebracht, auch Baumstümpfe als Daueruntersuchungsflächen zu verwenden, da auf diesen bisher keine durch die menschliche Aktivität verursachten Veränderungen festzustellen waren.

In pflanzensoziologischer Hinsicht stellen Strünke Sonderstandorte dar, die fast überall im Wald zu finden und leicht zu markieren sind. Für die Besiedlung der Stümpfe ist weniger die umgebende Vegetation als vielmehr die Feuchtigkeit (Beschattung, Randlage, Boden) entscheidend; für die Pilze spielt darüberhinaus die Holzart eine Rolle. Sind die Strünke nicht zu alt, kann die Holzart direkt bestimmt werden, ansonsten kann das Vorkommen bestimmter Pilzarten darüber Aufschluß geben.

Wie sich bei den bisherigen Vorversuchen gezeigt hat, weisen ältere Baumstümpfe gegenüber dem sehr gering belasteten Frischholz wesentlich höhere Pb-Gehalte auf. Dieser Umstand dürfte auf trockene und nasse Deposition sowie auf die

Abbildung 1: Lage der für die Daueruntersuchungen von Moos- und Pilzgesellschaften markierten Strünke an der Isenburger Schneise (Nr. 1 - 69) und an der Straßenbahnlinie (Nr. 101 - 165).

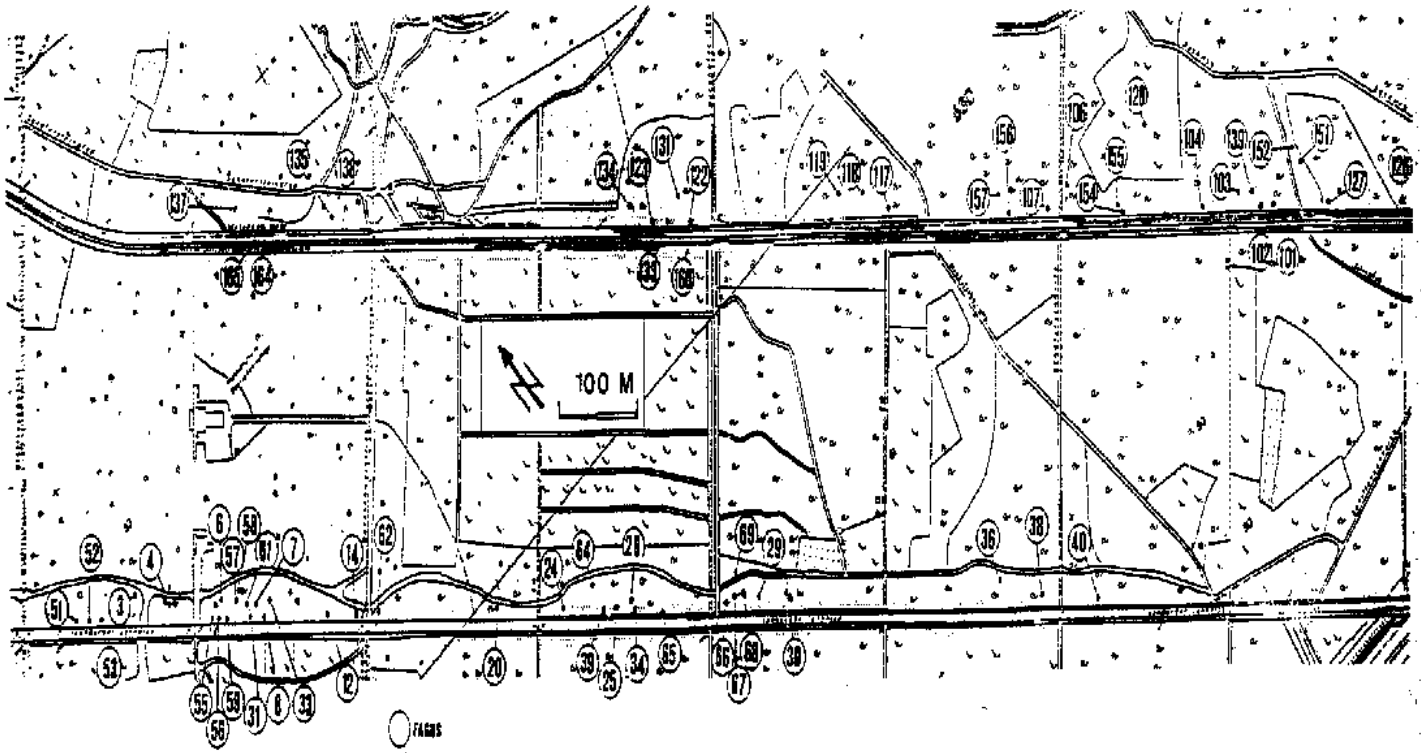


Tabelle 2: In Sommer und Herbst 1986 an der Isenburger Schneise und der Straßenbahn an den markierten Baumstümpfen gefundene Pilzarten.

Armillariella mellea agg.
Ascocoryne sarcoides
Bispora antennata
Bjerkandera adusta
Calocera cornea
- viscosa
Ceriporiopsis gilvescens
Chondrostereum purpureun
Collybia fusipes
Coprinus micaceus
Crepidotus mollis
- variabilis
Cudoniella acicularis
Cyathus striatus
Cylindrobasidium evolvens
Dacrymyces stillatus
Daedalea quercina
Daedaleopsis confragosa
Dasyscyphus niveus
- virgineus
Diatrype disciformis
- stigma
Fistulina hepatica
Ganoderma applanatum
Gymnopilus penetrans
Heterobasidion annosum
Hymenochaete rubiginosa
Hymenoscyphus calycylus
Hypholoma capnoides
- fasciculare
- sublateritium
Hypochnus fusisporus
Hypoxylon fragiforme
Inonotus nodulosus
- radiatus
Junghuhnia nitida
Kuehneromyces mutabilis
Lasiosphaeria ovina
- spermoides
Laxitextum bicolor
Lentinus lepideus
Lycoperdon pyriforme
Marasmiellus ramealis
Marasmius wynnei
Megacollybia platyphylla
Meripilus giganteus
Merulius tramellosus
Mollisia cinerra
- ligni
Mycena galericulata
- galopoda
- pura
- purpureofusca
- sanguinolenta
- cf. zephirus
Nectria cinnabarina
- coccinea
- episphaeria
Neobulgaria pura
Orbilia xanthostigma
Oudemansiella radicata
Panellus stipticus
- serotinrs
Paxillus involutus
Peniophora quercina
Peziza micropus
Phaeolus schweinitzii
Pholiota lenta
Pluteus atricapillus
Polyporus brumalis
- squarrosus
Postia subcaesia
Psathyrella hydrophila
- cf. sacrocephala
Ramaria stricta
Schizophyllun commune
Schizopora paradoxa
Scutellinia umbrarum
Sparassis crispa
Stereum hirsutun
- rugosun
- sanguinolentum
Trametes gibbosa
- hirsuta
- versicolor
Trichaptum abietinum
Ustulinadeusta
Xerocomus chrysenteron
Xylaria hypoxylon
- polymorpha

Dochtwirkung der Stümpfe, bei der Bodenlösung angesaugt und das Wasser verdunstet wird, und die damit einhergehende passive Akkumulation zurückzuführen sein.

Um den spezifischen Einfluß einer Straße auf diese Akkumulation (eventuelle Eignung der Stümpfe als Akkumulationsindikatoren) sowie auf die Besiedlung der Stümpfe mit Pilzen und Moosen zu untersuchen, wurden in 1 - 15 m Abstand neben

einer gut frequentierten Fahrbahn 68 Buchen-, Eichen- und Kiefernstümpfe ausgesucht und zwecks Dauerbeobachtung markiert; ebenso wurde mit 65 Stümpfen neben einer Straßenbahnlinie, die in etwa 300 m Abstand parallel versetzt zur Straße verläuft, verfahren. Wegen der Ähnlichkeit der beiden Standortsgruppen sind klimatische, pedologische und pflanzensoziologische Unterschiede gering zu veranschlagen. Die gewonnenen Ergebnisse belegen besonders bei den Buchenstümpfen den Einfluß der Straßennähe auf das Artengefüge und auf die Bleiakkumulation durch dieses Totholz; die Lage der Stümpfe ist aus Abbildung 1 ersichtlich.

Zur Charakterisierung des Holzabbaues und des Alters der Stümpfe werden physikalische (zum Beispiel Saugfähigkeit), pilz- und moossoziologische Beobachtungen herangezogen. Neben den Schwermetallgehalten des Holzes liegt der Schwerpunkt dieser Untersuchung in der Frage, ob und wieweit es Differenzen im Artengefüge der stumpfbesiedelnden Gesellschaften und ihrer Sukzessionen in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu einer der beiden Standortsgruppen gibt. Eine erste Übersicht der holzbesiedelnden sowie der sonstigen Pilzarten findet sich in Tabelle 2.

Darüberhinaus wurden Agar- sowie Holzblockkulturen der Pilzarten *Trametes gibbosa*, *Bjerkandera adusta* und *Schizophyllum commune* angelegt, um den Einfluß von Schwermetallen auf Wachstum und Holzabbau auch unter standardisierten Bedingungen zu untersuchen.

C. Erfassung und Bewertung des Zustandes der Vegetation

1. Dokumentation und Klassifizierung unbelaubter Wipfeltriebe von unterschiedlich geschädigten Rotbuchen mittels eines Vitalitätsquotienten

Um die gegenwärtige Schadenssymptomatik zu dokumentieren und ihren weiteren Verlauf zu verfolgen, setzten wir uns das Ziel, den Gesundheitszustand einer größeren Zahl von Rotbuchen festzuhalten und dies jährlich zu wiederholen. Diese Baumart ist gewählt worden, da sie gleichrangig mit Eichen die häufigste Laubbaumart des Stadtwaldes ist und hier auch ohne menschliche Einflußnahme am Aufbau der Vegetation wesentlich beteiligt sein dürfte.

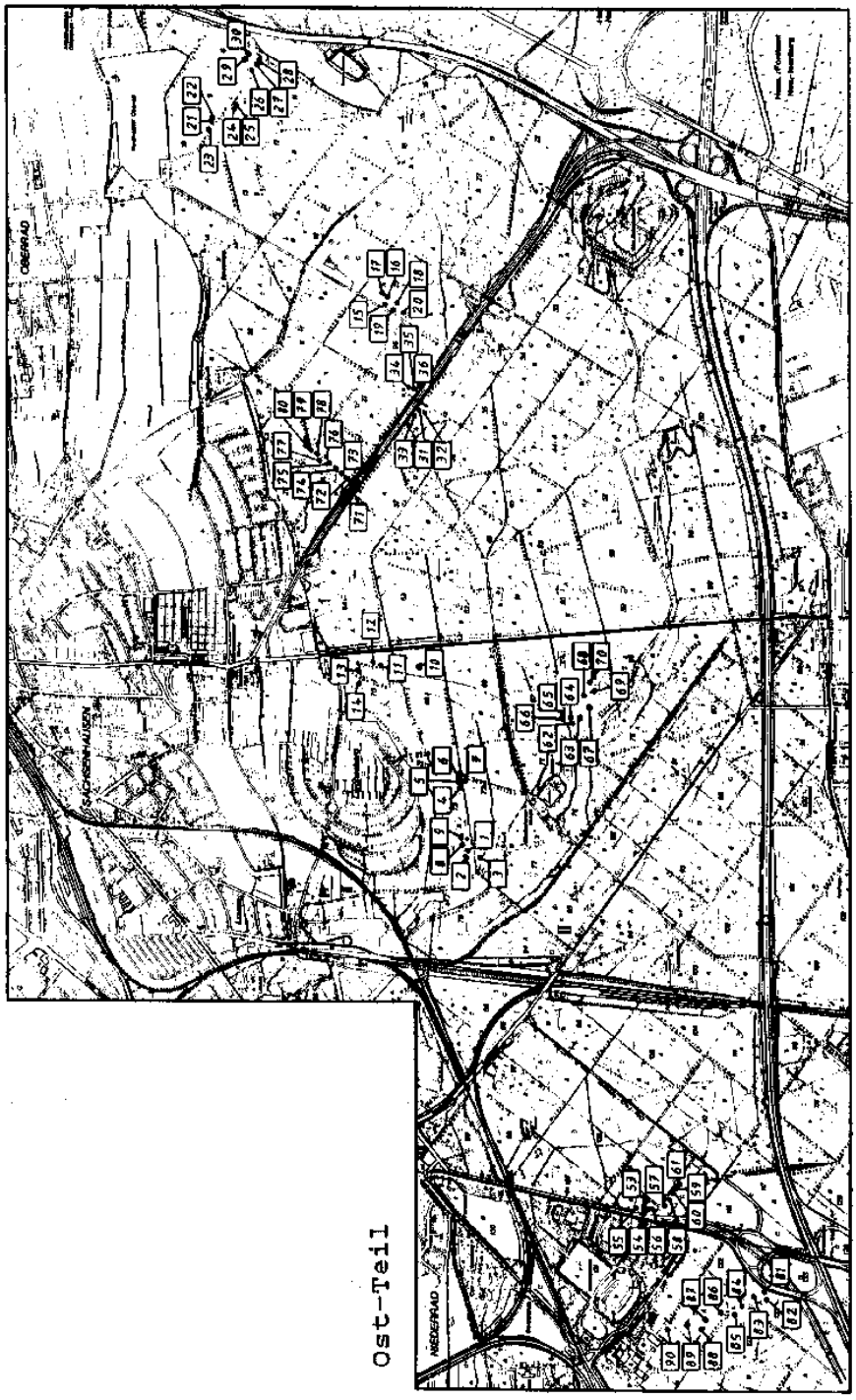
Zur Charakterisierung des Gesundheitszustandes sollte das von ROLOFF (1985) vorgeschlagene, auf der Verzweigungsmorphologie der Rotbuche basierende Modell einer Schadensklassifizierung herangezogen werden. Danach lassen sich die wesentlichen Kriterien einer Zuordnung zu den Schadstufen 0-3 vereinfacht folgendermaßen darstellen:

- Schadstufe O: Sowohl die Terminalknospen als auch die obersten Seitenknospen der Wipfeltriebe wachsen mit Langtrieben aus (Explorationsstadium).
- Schadstufe 1: Die Terminalknospen bilden Langtriebe aus, die Seitenknospen dagegen nur noch Kurztriebe; das Erscheinungsbild gleicht „Spießen“ und „Peitschen“ (Degenerationsstadium).

Abbildung 2: Lage der untersuchten Buchen (1-125) und der Transekte (I-IV) im Frankfurter Stadtwald.

West-Teil





Ost-Teil

- Schadstufe 2: Alle Knospen der Wipfeltriebe bilden nur noch Kurztriebe, Verzweigungen unterbleiben; solche Triebe erinnern an „Pinsel" (Stagnationsstadium).
- Schadstufe 3: Die Terminalknospen haben über viele Jahre hinweg nur noch Kurztriebe geschoben und die so entstandenen Kurztriebketten brechen wegen ungünstiger statischer Eigenschaften häufig ab; der Baum stirbt von der Spitze ausgehend allmählich ab (Resignationsstadium).

Generell verringert sich mit zunehmender Schädigung das Längenwachstum der Wipfeltriebe.

Unserem Zwecke einer Dokumentation der Entwicklung des Gesundheitszustandes genügt es jedoch nicht, die Schadstufen ausgesuchter Rotbuchen zu erfassen und dies in den folgenden Jahren zu wiederholen, da der Gesundheitszustand sich nicht sprunghaft von einer Stufe zur nächsten bewegt, sondern einem allmählichen, kontinuierlichen Wandel unterliegt. Daher mußte das starre Klassifizierungsschema zugunsten feinerer Differenzierungen, im Idealfall zugunsten einer kontinuierlichen Skala modifiziert werden.

Eine exakte Vermessung der Wipfeltriebe. auf der auch die Ergebnisse ROLOFFs (1984) basieren, wäre sicher wünschenswert gewesen, war bei lebenden Bäumen jedoch nicht durchführbar, da keine Zugangsmöglichkeit zu den Wipfeltrieben bestand. Auch die Untersuchung von aus der Krone herausgesägten Asten entfiel, da damit deren weitere Entwicklung nicht mehr hätte verfolgt werden können; darüberhinaus war nicht auszuschließen, daß ein solcher Eingriff auch die verbliebenen Kronenteile in ihrem Wachstum beeinflußt hätte.

Daher erprobten wir, ob und wieweit das Fotografieren von Wipfeltrieben eine geeignete Methode darstellt, um den Gesundheitszustand von Rotbuchen differenziert zu erfassen und zu dokumentieren, ohne die Bäume zu beschädigen.

Methode

Die Aufnahmen wurden mit einer Spiegelreflexkamera (NIKON FA) in Verbindung mit einem 600 mm- und einem 105 mm-Objektiv (NOVOFLEX bzw. NIKON) auf AGFAPAN- und ILFORD-SW-Filmen (50, 100 und 125 ASA) unter Verwendung eines Stativs gemacht.

Aus dem gesamten Gebiet des Frankfurter Stadtwaldes wählten wir 125 möglichst über 100 Jahre alte Rotbuchen verschiedener Schadstufen aus (Abb. 2), bei denen die Wipfeltriebe hinreichend gut einzusehen waren; jede Schadstufe sollte größenordnungsmäßig im gleichen Umfange repräsentiert sein. Zum Teil nahmen wir auch solche Bäume auf, die zwar nur einen schlechten Blick in ihre Krone gestatteten, die uns aber interessant erschienen, da sie Gegenstand der ökologisch-chemischen Untersuchungen sind.

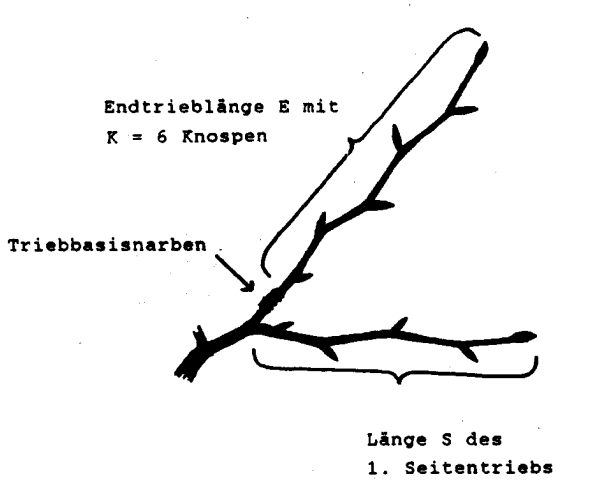
Wir wählten nur Altbuchen aus, da bei jüngeren Buchen das Auffinden stärker

geschädigter Individuen aufgrund deren geringer Zahl schwierig geworden wäre; ein Vergleich von Aufnahmen junger, gesunder Bäume mit solchen von alten, geschädigten Buchen wäre zweifelhaft.

Die ausgesuchten Buchen wurden unauffällig markiert, ihre Lage in der Karte festgehalten und der Kamerastandort notiert. Aus dem Wipfel jedes Baumes nahmen wir 2 verschiedene Bildausschnitte mit dem 600 mm-Objektiv, außerdem mit dem 105 mm-Objektiv eine Kronenübersicht auf; der Aufnahmezeitraum reichte vom 20. März bis zum 15. April 1986. Das Alter der Bäume wurde dem Forsteinrichtungsbuch entnommen.

An Ort und Stelle ordneten wir jeder der Rotbuchen gemäß dem von ROLOFF (1985) vorgeschlagenen Schema eine der 4 Schadstufen zu.

Zur Auswertung kann die Länge der Triebe weder absolut noch im Verhältnis der Aufnahmen untereinander herangezogen werden, da der Abbildungsmaßstab nicht bekannt und von Fotografie zu Fotografie unterschiedlich ist. Ein kurzer Jahrestrieb besitzt jedoch nach unserer Beobachtung weniger Knospen als ein langer, so daß die Zahl der Knospen die Länge ihres Wipfeltriebes widerspiegelt. Die unter-



K und S/E werden an möglichst vielen (n) Wipfeltrieben einer Buche ermittelt und daraus ihr Vitalitätsquotient V errechnet:

$$V = \frac{\frac{\Sigma\, S/E}{n} + \frac{\Sigma\, K/10}{n}}{2} = \frac{\Sigma\, S/E + \Sigma\, K/10}{2n}$$

Abbildung 3: Verfahrensschema zur Ermittlung des Vitalitätsquotienten V bei *Fagus sylvatica*

Abbildung 4: Wipfeltriebe von Baum 3. Die Triebbasisnarben der letzten 4 Jahre sind deutlich zu erkennen. Insgesamt erhielt der Baum V = 0,566 bzw. Schadstufe 0.



Abbildung 5: Kronenübersicht von Buche 3.



Abbildung 6: Wipfeltriebe von Baum 46. Mehrere Triebbasisnarben folgen dicht aufeinander, ein geringer Langtrieb ist lediglich im Jahr vor der Aufnahme geschoben worden.

6



Abbildung 7: Derselbe Trieb belaubt. Durch Vermerken des Kamerastandorts können nicht nur derselbe Zweig sondern auch der derselbe Aufnahmewinkel wiedergefunden werden.

Abbildung 8: Kronenübersicht von Baum 46. Teile der Krone sind herausgebrochen. Diese Buche erhielt V = 0,050 bzw. Schadstufe 3.

7



8



sten, selbst aus nächster Nähe kaum zu erkennenden Knospen eines Endtriebes können auf den Fotografien zwar nicht identifiziert werden, jedoch kann dieser Umstand beim Vergleich von Aufnahmen untereinander unberücksichtigt bleiben, da er überall gleichermaßen auftritt („schlafende Knospen").

Neben der Länge des Terminaltriebes spielen das Vorhandensein und die Form der Seitentriebe eine entscheidende Rolle bei der Beurteilung des Gesundheitszustandes. Daher setzen wir zur Auswertung die Länge des 1. Seitentriebes ins Verhältnis zur Länge des Endtriebes, so daß man einen Quotienten mit Werten zwischen 0 und erwartungsgemäß etwa 1 erhält; fehlen die Terminalknospe, der 1. Seitentrieb oder der ganze Endtrieb, so wird dieser Quotient zu 0 gesetzt.

Die Zahl der Knospen am Endtrieb wird durch 10 dividiert und dieser Wert mit dem korrespondierenden Quotienten gemittelt. Die auf diese Weise erhaltene Zahl nimmt wieder Werte zwischen 0 und etwa 1 an.

Entsprechend wird mit möglichst vielen Endtrieben pro Aufnahme verfahren, wobei darauf zu achten ist, daß die hierfür ausgemessenen Zweige frei den Luftraum erobern können, ohne von anderen Kronenteilen behindert zu werden. Alle so erhaltenen Werte eines Baumes werden zu einer Zahl, dem „Vitalitätsquotienten V", gemittelt (Abb. 3). Je größer dieser Vitalitätsquotient, desto positiver ist der Gesundheitszustand einer Buche zu veranschlagen.

Ergebnisse

8ei 13 der 125 Buchen ist die Bildqualität so schlecht, daß sie nicht bewertet werden können. Die Gründe hierfür sind in aufnahmetechnischen Fehlern (Unschärfe, Verwackeln), in ungeeignetem Blickwinkel (zu flach zur Verzweigungsebene der Triebe) und in zu geringer Größe der abgebildeten Zweige zu suchen. Der überwiegende Teil der Aufnahmen weist dagegen einen großen Detailreichtum auf: so lassen sich fast durchweg die Triebbasisnarben des letzten Jahrestriebes erkennen, ja teils sogar über 2-3 Jahre zurückverfolgen (Abb. 4-8).

Eine Zuordnung der Vitalitätsquotienten zu den Schadstufen ist nur im Falle von Schadstufe 3 theoretisch zu begründen: dort fehlen die Seitentriebe (Q = 0), und da der Endtrieb aus einer Kurztriebkette besteht, ist meistens nur noch eine einzige Terminalknospe vorhanden (K = 1). Somit muß der Vitalitätsquotient im Falle von Schadstufe 3 kleiner als 0,1 werden. Für die Abgrenzung der übrigen Schadstufen wählten wir nach erster Durchsicht der Aufnahmen folgende willkürliche Zuordnung*):

Schadstufe 0:	$0{,}5 \leq V$	
1:	$0{,}3 \leq V$	$< 0{,}5$
2:	$0{,}1 \leq V$	$< 0{,}3$
3:		$V < 0{,}1$

*) Zur Überprüfung der vorgenommenen Klassifizierung werden zur Zeit im Stadtwald die Wipfeltriebe von gefällten bzw. durch Sturm geworfenen Altbuchen gemessen

Die auf diese Weise gewonnenen Ergebnisse zeigt Tabelle 3. Es ergeben sich 16 Buchen der Schadstufe 0, 33 mit Schadstufe 1, 43 mit Schadstufe 2 und 20 der Schadstufe 3. Hierzu soll nochmals bemerkt werden, daß die fotografierten Bäume keine repräsentative Stichprobe aus dem Buchenbestand des Frankfurter Stadtwaldes darstellen und somit keine Rückschlüsse auf den allgemeinen Gesundheitszustand dieses Waldes zulassen.

Bei der Oberprüfung unserer Ergebnisse im Hinblick auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Vitalitätsquotient und Baumalter kommt man zu dem Schluß, daß innerhalb der von uns erfaßten Altersspanne von 92 bis 186 Jahren die festgestellten Schadsymptome nicht allein als Ausdruck eines natürlichen Altersprozesses der Rotbuchen gedeutet werden können, da zwischen Vitalitätsquotient und Alter der Bäume nur ein Korrelationskoeffizient von r - 0,08 besteht; dieser liegt weit unter der Signifikanzschwelle des 5 %-Niveaus von $r_{112;0,05}$=0,19.

In die gleiche Richtung weisen die Befunde ROLOFFs (1984), nach denen auch bei gesunden Altbuchen noch Wipfeltriebe des Explorationsstadiums oder zumindest des Degenerationsstadiums zu finden sind und der Obergang vom Degenerations- zum Stagnationsstadium erst mit etwa 200 Jahren einsetzt, sofern es sich nicht um unterständige Buchen handelt.

Bekanntermaßen sind Schadsymptome bei ganz oder wenigstens zum Teil freistehenden Buchen, also etwa bei Überhältern oder am Rand stockenden Bäumen, häufig und in fortgeschrittenerem Stadium anzutreffen als im Bestand. Dies sollte seinen Ausdruck auch in der von uns durchgeführten Auswertungsmethode finden. Dazu werden die Vitalitätszahlen in zwei Gruppen geteilt, je nachdem, ob die betreffenden Buchen im Bestand oder einzeln oder am Waldrand stocken (siehe Tab. 3); zweifelhafte Fälle, wie etwa erst im Winter 1985/86 freigestellte Bäume (zum Beispiel Nr. 15-20), bleiben unberücksichtigt. Da in beiden Gruppen die Werte weder normalverteilt sind noch ihre Verteilungsformen sich gleichen, muß zur statistischen Auswertung der Mediantest herangezogen werden. Man erhält dann für insgesamt 101 Bäume ^{2} = 38,91, so daß die Signifikanzschwelle des 5 %-Niveaus von $^2_{;0,5}$ = 3,84 weit überschritten wird. Somit besteht die zu fordernde stochastische Abhängigkeit zwischen Vitalitätsquotient und Exponiertheit der Rotbuchen.

Der Vergleich der vor Ort vorgenommenen Schadstufenzuordnung mit der nach der Bildauswertung erhaltenen ergibt in 87 Fällen Übereinstimmung und in 25 Fällen Differenzen um 1 Stufe der Schadensklassifizierung; Abweichungen um 2 oder 3 Stufen kommen nicht vor:

Schadstufe:	0	1	2	3
vor Ort geschätzt:	14	45	33	20
gemä8 Vitalitätsquotient berechnet:	16	33	43	20
Differenz gegenüber Schätzung positiver:		4	1	4
negativer:		2	11	4

Tabelle 3: Auswertungsergebnisse der Wipfeltrieb-Photographien.

Buche-Nr.	Stand-ort	Alter	V	Schadstufen aus V	Schadstufen geschätzt
1	-	162	0,271	2	2
2	-	162	0,228	2	2
3	B	115	0,566	0	1
4	E	186	0,181	2	3
5	E	186	0,280	2	2
6	E	186	0,250	2	3
7	E	145	0,207	2	2
8	E	162	0,212	2	2
9	E	162	0,425	1	1
10	B	134	0,244	2	2
11	B	186	0,383	1	1
12	B	186	0,457	1	1
13	B	186	0,493	1	1
14	B	186	0,604	0	0
15	-	152	0,375	1	1
16	-	152	0,421	2	1
17	-	152	0,300	1	1
18	-	152	0,337	1	2
19	-	152	0,307	1	1
20	-	152	0,350	1	1
21	B	102	0,358	1	1
22	B	102	0,219	2	2
23	B	102	0,539	0	0
24	B	107	0,149	2	2
25	B	97	0,342	1	1
26	B	102	0,479	1	1
27	B	102	0,518	0	0
28	B	102	0,580	0	0
29	B	102	0,551	0	0
30	B	102	0,514	0	0
31	E	107	0,234	2	2
32	E	107	0,231	2	2
33	E	107	0,248	2	2
34	E	145	0,150	2	2
35	E	145	nicht auswertbar		2
36	E	145	0,119	2	3
37	E	164	0,039	3	3
38	E	164	0,094	3	3
39	E	164	0,119	2	2
40	E	164	0,013	3	3
41	E	164	0,094	3	3
42	E	109	0,042	3	3
43	E	109	0,134	2	2
44	E	109	0,111	2	2
45	E	109	nicht auswertbar		1
46	E	109	0,050	3	3
47	E	108	0,059	3	2
48	E	108	0,069	3	3
49	E	108	0,072	3	3
50	E	108	0,042	3	3
51	E	108	0,065	3	3
52	B	94	0,557	0	1
53	E	159	0,286	2	1
54	E	159	0,180	2	2
55	E	159	nicht auswertbar		3
56	E	159	0,063	3	3
57	E	159	0,129	2	2
58	E	159	0,476	1	1
59	E	159	0,150	2	2
60	E	159	0,514	0	0
61	B	159	0,512	0	0
62	B	127	nicht auswertbar		0
63	B	127	0,321	1	1
64	B	127	nicht auswertbar		1
65	B	127	nicht auswertbar		2
66	B	127	0,292	2	1
67	E	127	0,063	3	2
68	E	127	nicht auswertbar		2
69	E	127	0,080	3	2
70	E	127	0,042	3	3
71	-	92	0,612	0	0
72	B	118	0,423	1	1
73	B	118	nicht auswertbar		1
74	B	118	0,325	1	1
75	B	118	nicht auswertbar		1
76	B	118	0,458	1	1
77	B	118	0,393	1	0
78	B	118	0,616	0	0
79	B	118	0,542	0	0
80	B	118	0,406	1	1
81	E	94	0,432	1	1
82	B	94	0,441	1	1
83	B	94	0,537	0	1
84	B	114	0,374	1	1
85	B	114	0,453	1	1
86	B	155	0,333	1	1
87	B	155	0,305	1	1
88	B	155	nicht auswertbar		1
89	B	155	0,509	0	0
90	B	155	0,433	1	1
91	E	193	0,050	3	3
92	B	146	0,300	1	1
93	B	146	0,308	1	1
94	B	146	0,296	2	1
95	E	146	0,100	2	2
96	B	168	0,175	2	3
97	E	168	0,138	2	2
98	E	138	0,292	2	1
99	E	138	0,211	2	1
100	E	138	0,183	2	1
101	E	95	0,120	2	2
102	E	95	0,110	2	1
103	E	95	0,090	3	3
104	E	95	0,213	2	1
105	E	95	0,219	2	2
106	E	95	0,200	2	2
107	E	104	0,131	2	2
108	E	104	0,079	3	2
109	B	104	nicht auswertbar		1
110	B	104	0,083	3	3
111	B	95	0,351	1	1
112	B	95	0,179	2	2
113	B	95	0,311	1	1
114	B	95	nicht auswertbar		1
115	B	95	nicht auswertbar		2
116	E	94	0,107	2	2
117	-	94	0,593	0	1
118	-	94	0,238	2	1
119	B	94	0,345	1	1
120	B	116	0,110	2	2
121	B	107	0,110	2	2
122	B	107	0,284	2	1
123	B	184	0,316	1	1
124	B	187	0,305	1	1
125	B	188	0,050	3	3

Standort:
B = im Bestand
E = freistehend, am Rand
- = nicht eindeutig

Alter:
aus dem Forsteinrichtungsbuch

V:
Vitalitätsquotient

Schadstufen aus V:
berechnet wie oben angegeben

geschätzt:
nach ROLOFF (1985)

Die nähere Betrachtung dieser Differenz zeigt, daß mit den von uns gewählten Grenzwerten der Vitalitätszahlen bei der Zuordnung zu den Schadstufen 1 oder 2 letztere gegenüber der Schätzung vor Ort deutlich bevorzugt wird.

Für die Gesamtheit der Ergebnisse ergibt ein Mehrfelder- χ^2-Test mit $\chi^2 = 4{,}13$ bei einer Signifikanzschwelle von $\chi^2_{3;0,05}=7{\cdot}82$ (5 %-Niveau) jedoch, daß die Bewertungsergebnisse stochastisch unabhängig von der Wahl der Methode sind.

Diskussion

Folgende Faktoren könnten bei der hier durchgeführten Schadensbewertung zu Fehlbeurteilungen geführt haben:

- Im Bestandesinneren waren die Wipfeltriebe der Rotbuchen oft nur schlecht auszumachen, so daß wir unter Umständen Seitenäste fotografiert haben dürften. Da solche Triebe ein der Degenerations- oder der Stagnationsphase vergleichbares Wachstum zeigen, indem sie von benachbarten Kronenteilen behindert werden (ROLOFF 1984), gelangten wir in einigen Fällen bei verhältnismäßig gesunden Bäumen wahrscheinlich zu einer zu schlechten Bewertung.
- Zwar ist die Auswertung der Aufnahmen nur mit geringen subjektiven Einflüssen behaftet, die Wahl des Bildausschnittes unterliegt jedoch der Willkür des Beobachters. Da bei einigen Buchen an ein und demselben Individuum Wipfeltriebe recht differierender Schadsymptome auftraten, muß darauf geachtet werden, möglichst viele Wipfeltriebe zu erfassen.
- An Buchen, aus denen bereits große Teile der Kronen herausgebrochen waren, wurden tieferliegende, noch lebende Zweige fotografiert, da sich nur an diesen noch eine weitere Entwicklung von Schadsymptomen verfolgen läßt. Die Beurteilung solcher Bäume alleine anhand dieser Aufnahmen führt dann zu einem zu positiven Ergebnis.
- Die Methode findet dort ihre Grenzen, wo Wipfeltriebe nicht mit hinreichender Vergrößerung oder nur unter ungeeignetem Blickwinkel fotografiert werden können.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte gestattet die hier vorgestellte Methode eine Schadensbeurteilung anhand einer kontinuierlichen Skala. Sie ist ohne großen technischen Aufwand und ohne Beschädigung der Buchen durchführbar. Die Fotografien stellen jederzeit überprüfbare Belege dar. mit denen die weitere Entwicklung verfolgt werden kann.

Auch mit einem starken Fernglas oder Spektiv läßt sich der Vitalitätsquotient einer Buche bereits abschätzen, und wenn dieses mit einer drehbaren Skala sowie einem Stativ versehen wird, sind die auf diese Weise gewonnenen Werte denen einer Fotoauswertung ebenbürtig.

Im folgenden wird noch darzulegen sein, daß der von uns entwickelte Vitalitätsquotient für Rotbuchen auch für Korrelationsberechnungen bei der Suche nach Zusammenhängen verwendbar ist. im Gegensatz zum Schätzverfahren wird hier gezählt oder gemessen.

Zeitliche Entwicklung Qr Schäden an Rotbrchen

An 48 gefällten bzw. durch Sturm geworfenen Rotbuchen haben wir den Längenzuwachs der Wipfeltriebe in Anlehnung an ROLOFF (1984, 1985a, b) zurückverfolgt Es zeigte sich, daß die von ROLOFF beschriebenen Schadsymptome und der von ihm festgestellte, zeitlich z. T. weit zurückliegende Schadbeginn auch für die Rotbuchenbestände des Frankfurter Stadtwaldes zutrifft. Dabei fiel auf, da8 entgegen dem allgemeinen Trend einige Baumexemplare auch in Jahren nach extremen Niederschlagsdefiziten noch guten Zuwachs aufwiesen Dies zeigt die hohe ökologische Plastizität der Rotbuche nicht nur auf großklimatische, sondern auch auf kleinstandörtliche, eventuell auch konkurrenzbedingte Änderungen zu reagieren Bei unseren Untersuchungen fielen besonders an den Straßenrändern Kronendeformationen, Abknickungen der Äste zu der der Windrichtung abgewandten Seite, Kronenwölbungen und -verbuschungen auf.

WENTZEL (1971) hat diese Erscheinungsformen als „Immissionshabitus“ beschrieben und „Ausharr-Resistenz“ genannt Diese bezeichnet die unterschiedliche Fähigkeit verschiedener Baumarten, (wenigstens kurzzeitlich?) auf die Immissionsbelastung des oberen Kronenteils durch verstärkte Regeneration der Blattsubstanz in dem unteren Kronenbereich zu reagieren. Bei der quantitativen Erfassung der Blattmasse sowie der Bewertung von Waldschäden anhand der Belaubung ist auf dieses Phänomen besonders zu achten.

2. Bestimmung und Vergleich von Blattgewichten und Blattflächen ausgewählter Rotbuchen und Eichen in Abhängigkeit zu Straßenentfernung und Schadstufe

Ein wichtiges Kriterium für die Abschätzung der Vitalität und Wüchsigkeit von Pflanzen stellt ihre Stoffproduktion dar. Bei hohem Schadstoffeintrag tritt eine entsprechende Minderung ein. Bei Pflanzen ist die Stoffproduktion mit einem meßbaren Substanzzuwachs pro Fläche und Zeiteinheit verbunden. Bei krautigen Pflanzen läßt sich der oberirdische Zuwachs leicht mittels Erntemethoden erfassen, schwieriger ist es bei Bäumen, da der Zuwachs sich vorwiegend im Kronenraum abspielt bzw. die Entnahme von Proben zu Schäden und/oder zur Destruktion der Bestände führt.

Methode

Bei den im Jahre 1984/85 durchgeführten chemisch-ökologischen Voruntersuchungen hatte es sich gezeigt, wie schwierig es ist, geeignetes Probematerial aus dem Kronenraum zu entnehmen. Wir verwendeten daher für die Untersuchungen 1985 und 1986 das Probematerial aus den Laubfallen. Die Bestimmung der Blattflächen und Blattachsen (größte Länge und Breite) erfolgte halbautomatisch mit einem mechanischen Bildauswertungsgerät (MOP - AM 02, Kontron-Meßgeräte).

Herrn Prof. Dr. G. Fleissner haben wir für die leihweise Überlassung des Gerätes und Frau Dr. G. Fleissner für die Einführung und Mithilfe bei der Erstellung von Computerprogrammen zu danken

Ergebnisse

Wie noch ausgeführt wird, war das Ausmessen der Blattflächen sowie die rechnerische Auswertung der Ergebnisse sehr arbeits- bzw. zeitaufwendig. Die Auswertungen sind daher noch nicht abgeschlossen und es kann zur Zeit nur eine orientierende und vorläufige Darstellung erfolgen.

Blattgewichte

Zwischen Blattgewicht und Vitalitätsquotient (berechnet im Winter 1985/86, siehe Tab. 3) ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von r = 0,3010 mit einer Signifikanz auf dem 5 %-Niveau ($r_{49;0,05}$=0,2816). Da das Längenwachstum (*Quercus*-Typ) der Rotbuche weitgehend von den Wuchsbedingungen des vergangenen Jahres abhängt, d. h. also von dem im Jahre 1985 vorhandenen Laub bestimmt wird (ROLOFF 1986), war diese Korrelation zu erwarten. Die Brauchbarkeit des Vitalitätsquotienten zeigt sich also auch in diesem Falle.

Blattfläche von Rotbuchen

Zur Beantwortung der Frage, wie groß die Stichprobe sein muß, um repräsentative Mittelwerte für Blattfläche, -länge und -breite der Rotbuche zu erhalten, wurden sämtliche Blätter in den Fallen 28/1 (n - 3352), 28/7 (n = 3259) und 28/10 (n = 4294) vermessen und die Mindestzahl der Beobachtungen nach SACHS (1984) errechnet. Die Berechnung ergab, daß eine Differenz zwischen den Mittelwerten von 10 % bei zweiseitiger Fragestellung auf dem 5 %-Niveau mit einer Teststärke von 90 % mit statistischer Signifikanz festgestellt werden kann, wenn mindestens jeweils 443, 396 bzw. 487 Blätter ausgewertet werden.

Probe / Parameter	n	n(%)	Fläche (mm²) $\bar{x}$	Fläche s	Länge (mm) $\bar{x}$	Länge s	Breite (mm) $\bar{x}$	Breite s	f $\bar{x}$	f s	BFI	Gew. (g)	BFG (g/m²)
Schattenbl.:													
28/1	1266	37,8	1684,6	901,8	60,2	17	38,7	11,4	0,676	0,043		78	36,6
28/7	795	24,4	1895,4	867,8	64,2	16,1	41,6	11,2	0,679	0,049		43,3	28,7
28/10	2293	53,4	2049,8	1029	65,9	18,3	43	12,1	0,683	0,073		134,8	28,7
Sonnenbl.:													
28/1	2087	62,2	1673,2	684,3	61,7	13,2	39,3	8,9	0,663	0,034		214,4	61,4
28/7	2464	75,6	1799,1	763,4	62,1	14	40,7	9,8	0,685	0,065		228,9	51,6
28/10	2001	46,6	1847,9	814,9	62	14,8	41,4	10,1	0,693	0,1		196,6	53,2
Gesamt:													
28/1	3352	100	1677,6	771	61,1	14,7	39,1	9,9	0,668	0,038	5,62	292,4	52
28/7	3259	100	1821,6	790	62,6	14,6	40,9	10,1	0,683	0,061	5,94	272,2	45,9
28/10	4294	100	1955,9	940,8	64,1	16,9	42,3	11,2	0,688	0,086	8,4	331,4	39,5

Tabelle 4: Meßergebnisse der vollständig ausgewerteten Blattfallen in der Waldabteilung 28 des Frankfurter Stadtwaldes (n = Stichprobenumfang; n(%) = prozentualer Anteil am Gesamtstichprobenumfang; x - Mittelwert; s - Standardabweichung; f - Faktor zur annäherungsweisen Berechnung der Blattfläche:
$f \cdot \text{Fläche } (x_{\text{Länge}} \cdot x_{\text{Breite}})^{-1}$

BFI = Blattflächenindex (m² Blattfläche je m² Bodenfläche); Gew. = Gewicht der Trockensubstanz je n Blätter; BFG = Blattflächengewicht (Trockengewicht je Einheit Blattfläche).

Die Fallen 28/1, 28/7 und 28/10 stehen unter den Buchen Nr. 70, 77 und 80.

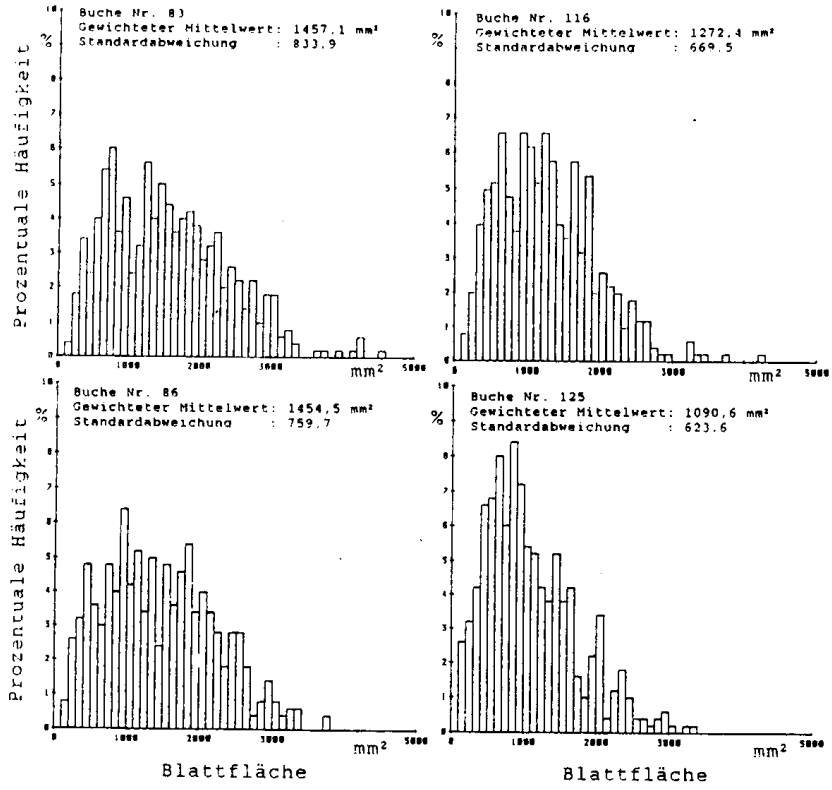


Abbildung 9: Prozentuale Häufigkeit der Blattflächenverteilung im Jahre 1985 unterschiedlich geschädigter Buchen (n = 500, Anzahl der Klassen: 50)

In Tabelle 4 sind die Meßergebnisse von drei vollständig ausgewerteten Blattfallen in der Waldabteilung 28 aus dem Jahre 1985 dargestellt. Der Abstand zur verkehrsreichen Babenhäuser Landstraße beträgt von Falle 28/1 (= Buche 71) etwa 6 m, von Falle 28/7 (= Buche 77) etwa 200 m und von Falle 28/10 (= Buche 80) etwa 300 m. Betrachtet man die Gesamtzahl der Blätter bzw. das Verhältnis Sonnen- zu Schattenblättern, so werden deutliche Unterschiede sichtbar, die eventuell auf kleinräumig wechselnden Standortbedingungen beruhen könnten. Obwohl Buche 71 so nahe an der Straße steht, besitzt sie mehr Schattenblätter als Buche 77, welche zwar weit entfernt von der Straße, aber am Rande einer kleinen Freifläche wächst. Hingegen nimmt die mittlere Größe der Blattfläche mit steigender Entfernung zur Straße zu. Dies trifft nicht nur für die getrennte Auswertung von Sonnen- und Schattenblättern, sondern auch für alle untersuchten Blätter pro Falle zu. Die Prüfung der Größenunterschiede mit Hilfe des t-Tests bei zweiseitiger Fragestellung ergab eine statistische Signifikanz auf dem 0,1 %-Niveau. Lediglich zwischen den Sonnenblättern der Buche 71 und 77 ist der Unterschied nur auf dem 1 %-Niveau signifikant.

Für die weitere Bearbeitung haben wir den Stichprobenumfang auf n = 500 festgelegt.

Zur Zeit wird geprüft, inwieweit es überhaupt möglich ist, mittels zu definierender Größenklassen eine Eichung auf die üblichen Schadstufen vorzunehmen. Die Abb. 9 soll die Schwierigkeiten einer Abgrenzung verdeutlichen. Mittels ausgewählter Meßwerte aus den Jahren 1985 wurden die Histogramme der Buchen 83, 86, 116 und 125 gezeichnet und die prozentuale Häufigkeit der Blattflächenverteilung bei unterschiedlichem Schädigungsgrad dargestellt. Es sind zwar Übereinstimmungen mit den in Tabelle 3 angeführten Vitalitätsquotienten beziehungsweise Schadstufen sichtbar, eine abgesicherte Zuordnung ist zur Zeit jedoch wegen unseres geringen Probematerials noch nicht möglich.

3. Berechnung des Blattflächenindexes in ausgewählten Laubwaldbeständen

Im Rahmen unseres Vorhabens soll der Blattflächenindex als Bewertungsmaßstab für unterschiedliche Produktivität von Baumindividuen oder Beständen dienen. Daher ist zu prüfen, ob es möglich ist, mit seiner Hilfe Koinzidenzen zwischen Schadstoffbelastung und Pflanzenwachstum sichtbar zu machen.

Der Blattflächenindex (BFI) wird nach STEUBING (1965) definiert als

$$BFI = \frac{\text{Summe einfache Blattfläche in m}^2}{\text{Bodenfläche in m}^2}$$

Falle	Transekt I Buche 71-80	Transekt II 81-90	Transekt III 100-91	Waldrand 101-108	Bestands-inneres 115-109
1	5,62^{+}	3,45^{-}	1,98^{-}	5,43^{-}	5,11^{-}
2	6,26*	3,60^{-}	2,81^{-}	4,86^{-}	5,22^{-}
3	6,94*	4,47^{-}	3,05^{-}	4,27^{-}	6,69^{-}
4	7,32*	4,23^{-}	4,49^{-}	3,81^{-}	5,72^{-}
5	5,56*	3,95^{-}	4,47^{-}	5,12^{-}	4,84^{-}
6	6,97*	4,44^{-}	4,46^{-}	3,53^{-}	4,95^{-}
7	5,94^{+}	4,22^{-}	3,79^{-}	4,31^{-}	5,55^{-}
8	9,04*	4,77^{-}	3,86^{-}	3,88^{-}	
9	6,66*	4,67^{-}	3,56^{-}		
10	8,40^{+}	3,49^{-}	2,70^{-}		

Tabelle 5: Blattflächenindex unter Buchen von Profil I, II, IV sowie am Waldrand und im Bestandsinnern südlich des Golfplatzes.

\+ = Flächenberechnung aufgrund aller Blätter pro Falle
* = Flächenberechnung aufgrund von 200 Blättern pro Falle
\- = Flächenberechnung aufgrund von 100 Blättern pro Falle

In der Forstwissenschaft mißt man die gesamte assimilierende Oberfläche der Blätter eines Individuums oder Bestandes (MITSCHERLICH 1978) und erhält somit einen um den Faktor 2 höheren Wert. Der Blattflächenindex erreicht als dimensionslose Zahl Werte von etwa 0,5 in nordischen Polstergesellschaften und bis etwa 14 in Hochstaudenfluren.

Wir führten die Bestimmung des Blattflächenindexes nach STEUBING (1965) durch. Die benötigten Stichproben wurden den Blattfallen nach dem Zufallsprinzip entnommen. Die Ergebnisse der Berechnungen finden sich in Tabelle 5.

Die Korrelation von Blattflächenindex und Vitalitätsquotient ist auf dem 1 %-Niveau signifikant. Aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes war es uns nicht möglich, von allen untersuchten Buchen 500 Blattflächen auszumessen. Für die weiteren Untersuchungen bietet sich an, die Bestimmung der Blattflächen nach der Formel F = L x B x f angenähert vorzunehmen. (F = Blattfläche, L = maximale Blattlänge, B = maximale Blattbreite, f = Faktor, siehe KREEB 1977.) Die Ergebnisse entsprechender Berechnungen des Faktors für die Buchen des Stadtwaldes finden sich in Tabelle 4. Trotzdem spiegeln sich in den Werten, auch wenn man sie nur relativ wertet, die Wuchsbedingungen beziehungsweise Wuchsleistungen gut wieder.

D. Ökologisch-chemische Untersuchungen

1. Methode

Ein wesentliches Anliegen unseres Vorhabens war es, in enger Verbindung mit den vegetationskundlichen Untersuchungen auch Schwermetallgehalte und ausgewählte Mineralstoffgehalte in den Waldökosystemen zu erfassen. Das Schwermetall Blei wird spezifisch von Kraftfahrzeugen emittiert, da es dem Vergaserkraftstoff als Antiklopfmittel zugesetzt wird. Daneben gab es aber auch Hinweise auf die verstärkte Immission anderer Schwermetalle in Straßennähe. Deswegen wurden auch Cadmium, Zink, Kupfer, Chrom und Nickel in unsere Untersuchungen einbezogen.

Die Beeinflussung der untersuchten Waldökosysteme durch Kraftfahrzeugimmissionen sollte mit Hilfe von Gradienten der Schwermetallbelastung aufgezeigt werden. Dazu wurden an vier ausgewählten Buchenwaldstandorten die Transekte I-IV etabliert, die von den Straßen wegführen und an denen in unterschiedlichen Entfernungen zur Straße Proben von Boden-, Kraut-, Strauch- oder Baumschicht gesammelt wurden.

Der Transekt I (siehe Abb. 2, Baum-Nr. 71-74), parallel zur Hauptwindrichtung (SW) und senkrecht von der vierspurigen Bundesstraße 459 (Babenhäuser Landstra-Be, durchschnittlicher Werktagsverkehr etwa 25.000 Fahrzeuge) geführt, wurde bereits 1984 zu Untersuchungen ausgewählt. Außer im Transekt I der Waldabteilung 28 wurden in 3 benachbarten Waldabteilungen Proben analysiert. Es sollte versucht werden, die Schwermetallbelastung und -akkumulation in einem straßennahen Buchenwald anhand möglichst vieler Ökosystemkompartimente zu verfolgen.

Zur Erfassung von Schwermetallgradienten in den Transekten II-IV analysierten wir das in den Blattfallen gesammelte Herbstlaub des Jahres 1985 von Rotbuchen und Trauben- und Stieleichen. In den Transekten Ii und III wurden die Blei- und Cadmiumgehalte des anfallenden Herbstlaubes getrennt nach den Sammlungszeiträumen Oktober, November und Dezember gemessen. Zudem machten die Ergebnisse der blattmorphologischen Untersuchungen die getrennte Messung von Sonnen- und Schattenblättern notwendig.

Alle Herbstlaub-Transekte liegen im Nahbereich der Autobahn A 3 (Würzburg - Köln) mit einem durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWTV) von etwa 100.000 Fahrzeugen. Bei Transekt II (siehe Abb. 2, Baum-Nr. 81-90) kommen zusätzlich noch die Immissionen der Bundesstraße B 43/44 (DWTY: etwa 40.000 Fahrzeuge) hinzu. Der Transekt verläuft etwa van Südosten nach Nordwesten und steht somit fast senkrecht zur Hauptwindrichtung. Wie Transekt II beginnt Transekt III (siehe Abb. 2, Baum-Nr. 116-125) in unmittelbarer Nähe zur A 3. Im Gegensatz zu letzterem verläuft er aber parallel zur Hauptwindrichtung und endet erst in 800 m Straßenentfernung, während Transekt II nur 520 m lang ist. Die Ergebnisse von Transekt III sollten primär zur Überprüfung der Ergebnisse von Transekt II genutzt werden. Daneben sollten aber auch Vergleiche zwischen parallel und senkrecht zur Hauptwindrichtung verlaufenden Transekten angestellt werden.

Im Transekt IV (siehe Abb. 2, Baum-Nr. 91-100) wurde das Herbstlaub von Buchen und Eichen des Sammelzeitraumes Oktober auf die Gehalte an Blei, Cadmium, Zink, Kupfer und Chrom untersucht. Der etwa 1000 m lange Transekt wurde so gelegt, daß er an der Autobahn A 3 beginnend und in Süd-Nord-Richtung verlaufend nach etwa 00 m die Bundesstraße B 43 (DWTV: etwa 20.000 Fahrzeuge) überquert und dann noch weitere 700 m in das Waldesinnere führt. Diese Anordnung gestattete es, auch Elemente zu untersuchen, die im Hinblick auf eine verkehrsbedingte Immission in Straßennähe noch relativ wenig untersucht sind, da im Verlauf des Transektes zwei Spitzen der Schwermetallbelastung zu erwarten waren.

Über das Herbstlaub wird nur ein relativ geringer Anteil des gesamten Schwermetalleintrages in Waldökosysteme erfaßt (MAYER 1981). Um einen Eindruck über einen wesentlich größeren Anteil der Gesamtschwermetalldeposition zu erlangen, wurden auch Proben der obersten Streu-Lage des Bodens untersucht, die im wesentlichen aur dem vorjährigen Laubfall besteht. Je Standort wurden drei Proben entnommen und jede Probe wurde zweifach analysiert. Die angegebenen Schwermetallwerte sind also Mittelwerte aus sechs Einzelbestimmungen.

Der Frankfurter Stadtwald wird von zahlreichen Straßen zerschnitten mit einem durchschnittlichen Werktagsverkehr von insgesamt mindestens 300.000 Fahrzeugen. Seine Lage in einem urban-industriellen Ballungsgebiet verbietet daher das Auffinden echter Nullproben-Flächen. Es konnte nur versucht werden, die Schwermetallgehalte der Streu in Gebieten gleicher Baumartenzusammensetzung zu bestimmen, die von einer direkten Deposition verkehrsbedingter Schwermetallimmissionen weitgehend unbeeinflußt sind. Diese Schwermetallgehalte werden im Unterschied zu echten Nullproben im folgenden als „Hintergrundbelastung“ bezeichnet. Aufgrund der Ergebnisse der drei anderen Transekte wurde als „sichere“ Entfernung zur

nächsten Straße eine Strecke von 500 m angesehen. Zur Feststellung der Hintergrundbelastung der Streu mit Schwermetallen standen damit nur 20 % der gesamten Stadtwaldfläche zur Verfügung. Die Streuentnahme zur Bestimmung der Hintergrundbelastung erfolgte an fünf über das gesamte Stadtwaldgebiet verteilten Standorten.

Im Transekt I wurden parallel zur Analyse der Schwermetallgehalte auch noch die Gehalte an löslichem Nitrat, Sulfat und Chlorid im Boden gemessen (siehe Abschnitt 0 3). Außerdem wurde versucht, Koinzidenzen zwischen den Kalium-, Calcium- und Magnesiumgehalten des Buchenlaubes ausgewählter Bäume und deren Schädigungsgrad festzustellen (siehe Abschnitt 0 4).

Die Mineralstoffanalyse erfolgte nach dem Prinzip der chemischen Naßveraschung der organischen Proben mit Hilfe konzentrierter Salpeter- und Perchlorsäure (SMITH 1953). Die Messung der Schwermetallgehalte erfolgte anschließend an einem Atomabsorptionsspektralphotometer (AAS 9000, Firma Perkin-Elmer) mit Graphitrohrofen. Die Messung der Pflanzennährstoffe erfolgte dagegen am Flammen-AAS (AAS 300, Firma Perkin-Elmer).

Die Anwendung der chemischen Naßveraschung wurde im Verlauf des Untersuchungszeitraumes ständig verbessert. Während am Anfang noch beträchtliche Säuremengen in offenen Teflonbechern abgedampft wurden, konnte das Säurevolumen durch Einführung von Aufschlußapparaten mit Rückflußkühlung stark reduziert werden. Der Verzicht auf Perchlorsäure und die größtmögliche Vermeidung von Schwermetallverlusten während der Veraschung wurden schließlich durch die Anwendung von Druckaufschlußapparaten (Autoklav-3, Firma Perkin-Elmer) erreicht. Gleichzeitig wurden Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen durch Einführung der Plattformtechnik am Graphitrohrofen-AAS erhöht, so daß die Messung von Standardreferenzmaterial (NBS 1572, Citrus leaves) mit Hilfe der verbesserten Methoden die Reproduktion der zertifizierten Schwermetallwerte erbrachte.

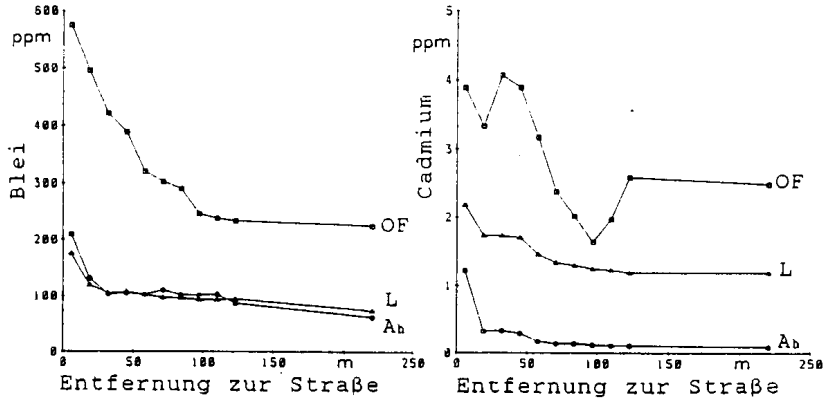
2. Schwermetallgradienten

Ergebnisse in Transekt I

Die Meßergebnisse der Schwermetallanalysen der untersuchten Bodenhorizonte im Transekt I zeigen klare Abhängigkeiten zwischen den Schwermetallgehalten und der Entfernung zur Straße (Abb. 10 und 11).

Für die untersuchten Schwermetalle erweist sich die Humusauflage als Senke im Ökosystem. Insbesondere der OF-Horizont reichert in großem Ausmaß Schwermetalle an. Der durchschnittliche Überhöhungsfaktor L : OF : Ah bezogen auf L = 1 sieht für die Elemente wie folgt aus:

Pb = 1 : 3,0 : 0,9
Cd = 1 : 1,9 : 0,2



Abbildungen 10 und 11: Transekt I - Blei- und Cadmiumgehalte (#g/g TRS) von drei Bodenhorizonten in Abhängigkeit von der Straßenentfernung.

Interessant ist auch der Vergleich zwischen der salpetersäurelöslichen und wasserlöslichen Schwermetallfraktion zwischen Böden mit sauren pH-Werten und Böden mit alkalischen pH-Werten. So sind in sauren Böden 10-20 % der salpetersaurelöslichen Schwermetalle auch wasserlöslich. in alkalischen Böden beträgt dieser Anteil jedoch weniger als 1 %.

Dieses unterschiedliche Löslichkeitsverhalten der Schwermetalle in Böden verschiedener pH-Bereiche erklärt auch die Ergebnisse der Schwermetallmessungen von Vegetationsorganen der Rotbuche. Während sich für grüne Blätter und Rinde der Rotbuche (Abb. 12) lineare bzw. exponentielle Beziehungen der Bleigehalte zur Straßenentfernung erkennen lassen, fallen bei den Wurzel- (Abb. 12) und Holzproben (Abb. 13) sehr niedrige Bleigehalte in einer Straßenentfernung von sechs Metern auf. Als einziger Wuchsort im Transekt I hat der Boden in 6 m Straßenentfernung alkalische pH-Werte und eine stark verminderte Wasserlöslichkeit der Schwermetalle. Die Schwermetallgehalte von Wurzel- und Holzproben sind also vermutlich weitgehend von edaphischen Faktoren (Pflanzenverfügbarkeit) abhängig. Unter den gleichartigen Bodenverhältnissen im weiteren Verlauf des Transektes lassen sich dann auch bei diesen Vegetationsorganen Beziehungen zwischen Bleigehalten und Straßenentfernung erkennen.

Die Holzproben der Rotbuche wurden in Brusthöhe mit einem Stammbohrer entnommen. Der Holzzuwachs der Jahre 1964-74 und 1974-84 wurde getrennt bearbeitet. Die Analyse der Schwermetallgehalte beider Altersstufen zeigte signifikant höhere Bleigehalte der jüngeren Holzproben (Abb. 13), während Zink- und Cadmiumgehalte keine altersbedingten Unterschiede aufwiesen. Die Babenhäuser Landstraße ist erst Anfang der siebziger Jahre zu einem vierspurigen Autobahnzubringer ausgebaut worden. Die höheren Bleigehalte der jüngeren Holzproben lassen sich daher vermutlich mit dem seither gestiegenen Verkehrsaufkommen erklären.

Von den zur Auswahl stehenden Unterwuchspflanzen des Transektes I (siehe Tab. 1)

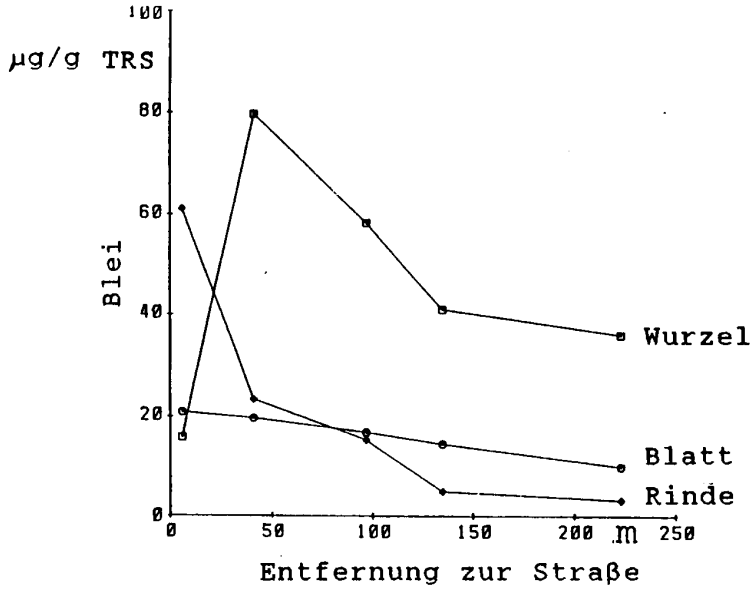


Abbildung 12: Transekt I. Bleigehalte von Vegetationsorganen der Rotbuche (Fagus sylvatica).

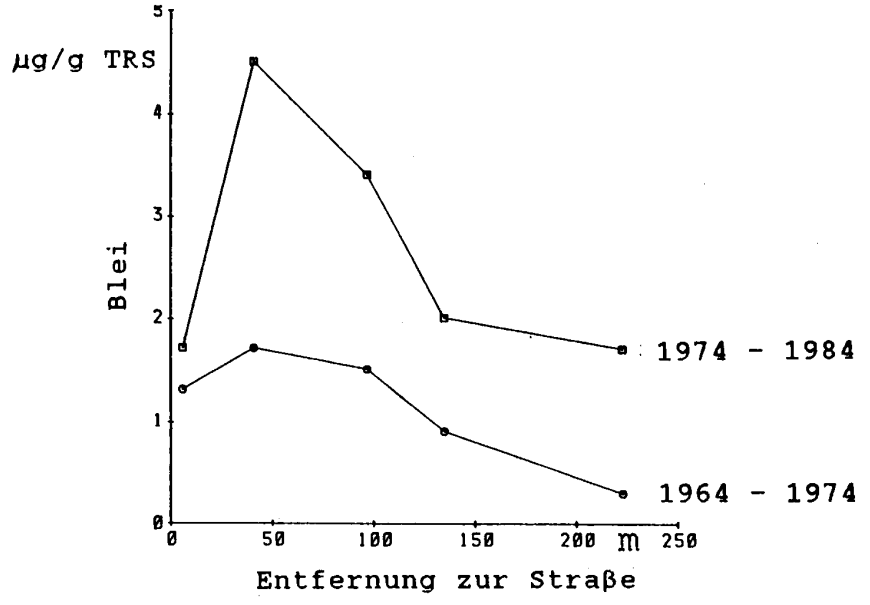


Abbildung 13: Transekt I. Bleigehalte von Holzproben verschiedener Altersstufen der Rotbuche (Fagus sylvatica).

wurden die Schwermetallgehalte des Bergahorn-Jungwuchses, des Kleinblütigen Springkrautes sowie des Flattergrases untersucht, da nur diese Pflanzen in ausreichender Menge im Verlauf des gesamten Transektes vorkamen. Trotz des uneinheitlichen Datenmaterials und der kleinen Unterschiede zwischen den einzelnen Probenahmepunkten läßt sich eine signifikante Abnahme der Schwermetallgehalte mit zunehmender Straßenentfernung bei allen untersuchten Pflanzen feststellen. Bleigradienten bestehen bei allen drei untersuchten Pflanzen. Bergahorn und Springkraut zeigen darüberhinaus auch noch eine Abnahme ihrer Zink- und Cadmiumgehalte mit zunehmender Straßenentfernung.

Die Ergebnisse der Berechnungen lassen auf ein unterschiedliches Akkumulationsverhalten für Schwermetalle bei den drei untersuchten Pflanzenarten schließen. Während die Bleigehalte der rauhen, kurzhaarigen Blattspreiten des tiefwurzelnden Bergahorns im Verlauf der Vegetationsperiode ansteigen, läßt sich keine signifikante Veränderung der Zink- und Cadmiumgehalte feststellen. Das Springkraut wurzelt nur in der Humusauflage und akkumuliert Zink und Cadmium, während die Bleigehalte im Laufe der Vegetationsperiode sogar sinken. Das Flattergras reicht mit seinen Wurzeln bis in den A_h-Horizont. Die Bleigehalte steigen im Verlauf der Vegetationsperiode, dagegen nehmen die Zink- und Cadmiumgehalte ab.

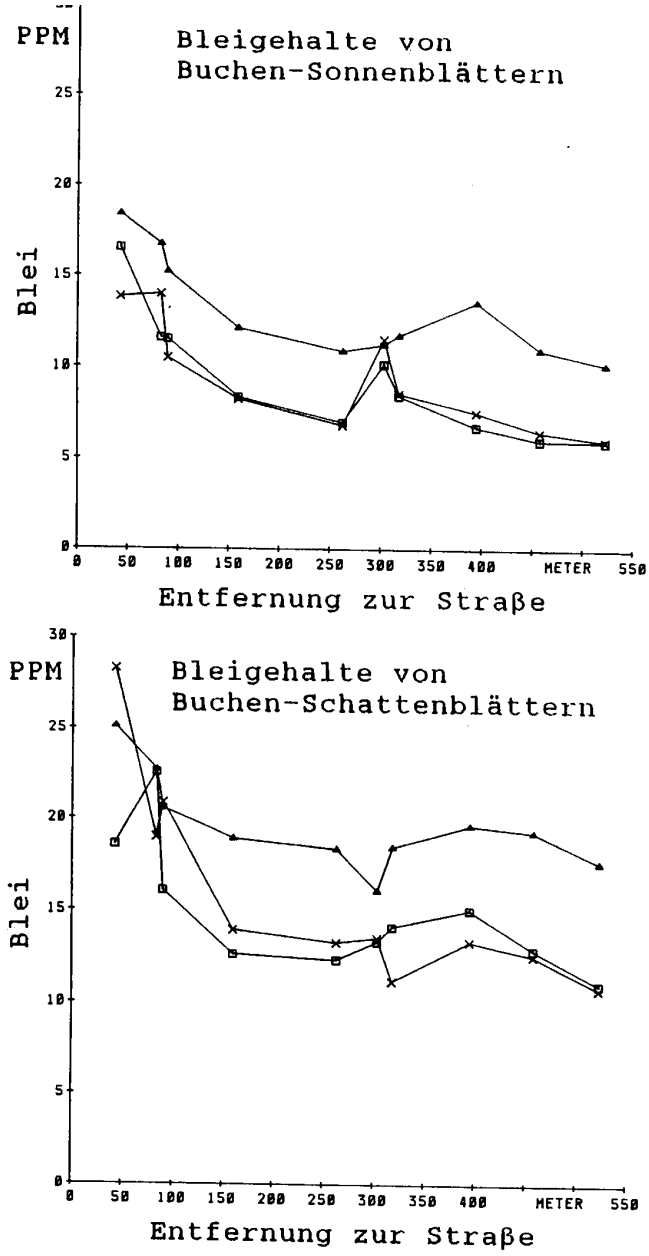
Die Untersuchungen im Transekt I erbrachten den Nachweis, daß alle von uns untersuchten Kompartimente straßennaher Buchenwaldökosysteme durch die verkehrsbedingte Schwermetallkontamination betroffen werden. Diese Schwermetallkontamination umfaßt nicht nur die Deposition von Bleipartikeln, sondern gilt auch für die beiden anderen potentiell toxischen Schwermetalle Zink und Cadmium. Weitere Ergebnisse finden sich bei KOCHLER (1985).

Ergebnisse in den Transekten II - IV

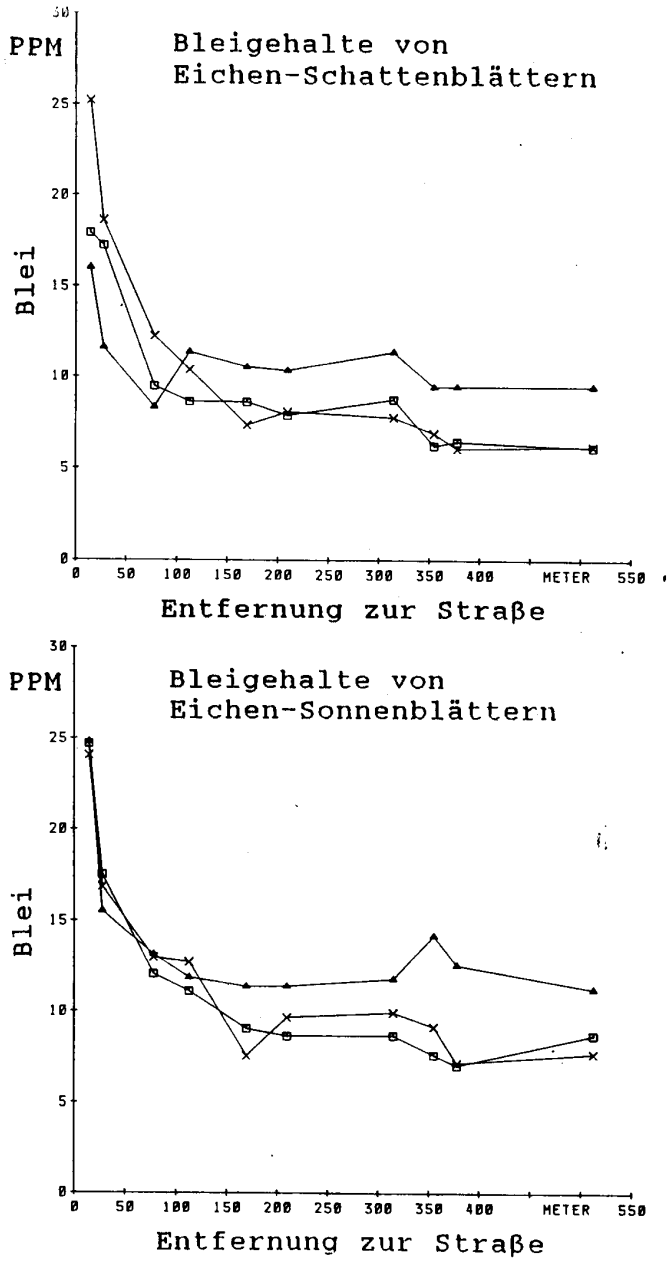
In Transekt II besitzen die Buchen-Schattenblätter die höchsten Schwermetallgehalte, gefolgt von Schatten- und Sonnenblättern der Eiche. Die Sonnenblätter der Buche haben die niedrigsten Gehalte.

Bei einem Vergleich der Schwermetallgehalte verschiedener Sammelzeiträume (siehe Abb. 14-17) sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Oktober- und Novemberanalysen erkennbar. Im Dezember steigen dann die Schwermetallgehalte der Buchenblätter signifikant, während die Dezember-Blätter der Eichen keine signifikanten Unterschiede zu den Vormonaten aufweisen.

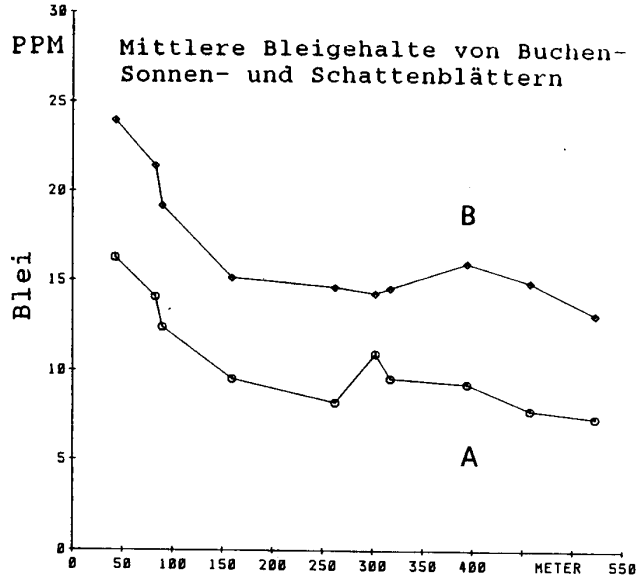
Für das Herbstlaub der beiden untersuchten Baumarten läßt sich im Transekt II eine exponentielle Abnahme der Bleigehalte mit zunehmender Straßenentfernung erkennen (Abb. 18 und 19). Dabei verläuft die Abnahme der Bleigehalte bei den Eichenblättern steiler als bei den Buchenblättern. Die direkte, verkehrsbedingte Schwermetallakkumulation der untersuchten Blätter endet in diesem Transekt nach etwa 150 m Straßenentfernung. Die Ergebnisse der Cadmium- und Nickelanalysen assen keine Beziehungen zur Nähe einer vielbefahrenen Straße erkennen.

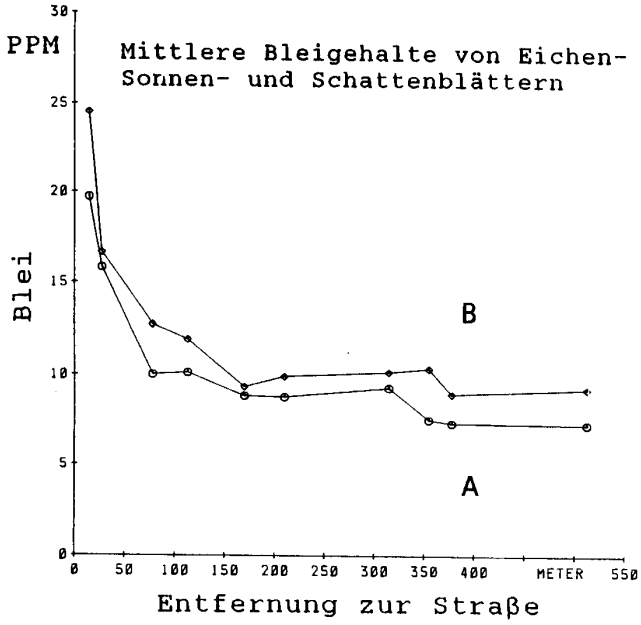


Abbildungen 14 und 15: Bleigehalte (µg/g TRS) von Sonnen- und Schattenblättern der Buche der Sammelzeiträume Oktober (X), November (□) und Dezember (△) entlang Transekt II.



Abbildungen 16 und 17: Bleigehalte (µg/g TRS) von Sonnen- und Schattenblättern der Eiche der Sammelzeiträume Oktober (X), November (□) und Dezember (△) entlang Transekt II.





Abbildungen 18 und 19: Mittlere Bleigehalte (µg/g TRS) der Sonnenblätter (A) und Schattenblätter (B) von Buchen und Eichen entlang Transekt II. Gemittelt wurden die Bleigehalte der drei Sammelzeiträume je Standort.

Die oben angeführten Aussagen werden durch die Messungen im Transekt III bestätigt. So findet man auch hier eine signifikante Erhöhung der Schwermetallgehalte von Buchenblättern im Sammelzeitraum Dezember, während sich bei den Eichenblättern keine Unterschiede zwischen den Sammelzeiträumen feststellen lassen. Die Schwermetallgehalte der Schattenblätter beider Baumarten sind ebenfalls höher als bei den Sonnenblättern, wobei auch hier die Buchen-Schattenblätter die höchsten und die Buchen-Sonnenblätter die niedrigsten Schwermetallgehalte aufweisen.

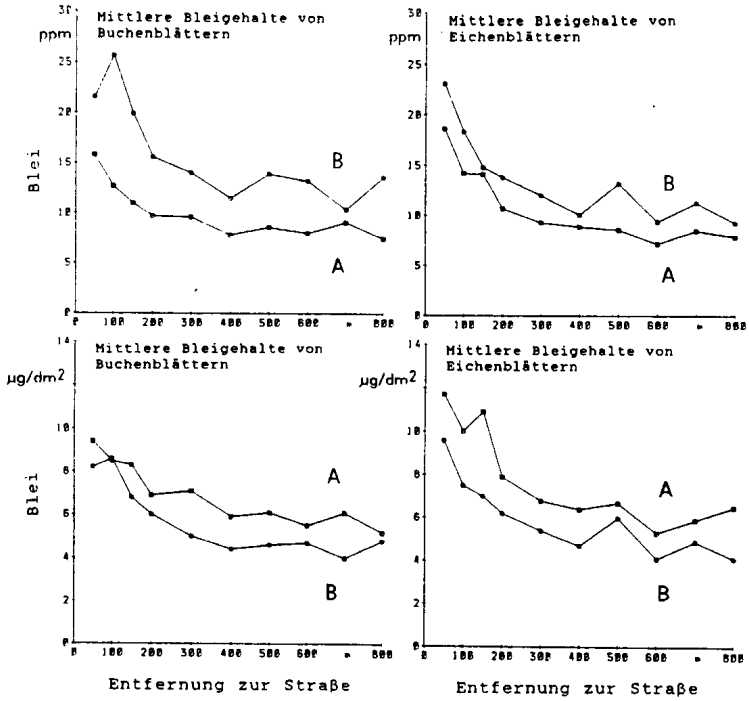
Die Wahl der Trockensubstanz als Bezugsgröße für Schwermetallgehalte von Blättern in Immissionssituationen kann zu Verzerrungen führen, die über die eigentlichen Bedingungen der Schwermetalldeposition auf Blattoberflächen hinwegtäuschen. Unsere blattmorphologischen Untersuchungen (siehe Kapitel C.2) fanden bei Buchen-Sonnenblättern doppelt so hohe Werte des Blattflächengewichtes (g Trokkensubstanz/m2 Blattfläche) wie bei Schattenblättern. Die höheren Schwermetallgehalte der Schattenblätter täuschen daher eine höhere Schwermetalldeposition im Innern von Baumkronen vor. Aus diesem Grund schien es sinnvoll, die gemessenen Schwermetallgehalte auch auf die Blattfläche zu beziehen. Das Blattflächengewicht der untersuchten Laubproben wurde daher parallel zur Probenaufbereitung für die Schwermetallanalyse bestimmt.

Die Wahl der Blattfläche als Bezugsgröße für die Bleigehalte bewirkt eine Umkehrung der Verhältnisse zwischen Sonnen- und Schattenblättern von Buchen und Eichen gegenüber der Bezugsgröße Trockensubstanz (Abb. 20-23). Wie erwartet sind die vornehmlich aus dem äußeren Kronenbereich stammenden Sonnenblätter höheren Bleidepositionen ausgesetzt als die Schattenblätter. Eine gleichlautende Interpretation der mittleren Cadmiumgehalte von Buchen- und Eichenblättern stößt dagegen auf Schwierigkeiten (Abb. 24-27).

Während bei der Buche die ausgeprägten Unterschiede bei den Cadmiumgehalten von Schatten- und Sonnenblättern durch die Wahl der Bezugsgröße Blattfläche nivelliert werden, treten bei der Eiche die Unterschiede zwischen Sonnen- und Schattenblättern durch die Bezugsgröße Blattfläche stärker hervor. Die Anwendbarkeit der Bezugsgröße Blattfläche zur Darstellung der Depositionsverhältnisse des Schwermetalls Cadmium scheint daher fraglich, insbesondere da die Herkunft des Cadmiums (Aufnahme aus dem Boden oder direkte Deposition auf die Blattoberflächen) nicht so eindeutig ist wie bei Blei.

Wie bei Transekt II nehmen die Bleigehalte des Herbstlaubes von Transekt III mehr oder weniger exponentiell mit zunehmender Straßenentfernung ab. Darüberhinaus scheint bei den Buchenblättern von Transekt III auch ein Gradient der Cadmiumgehalte möglich. Die Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (SACHS 1984) ergab eine signifikante (p - 0.01), negative Beziehung vonCadmiumgehalten und Straßenentfernung.

Vergleicht man die entsprechenden Schwermetallgehalte von Standorten gleicher Straßenentfernung, so lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Transekt II und Transekt III feststellen. Die unterschiedliche Lage der Transek-



Abbildungen 20 bis 23: Mittlere Bleigehalte der Sonnenblätter (A) und Schattenblätter (B) von Buchen und Eichen entlang Transekt III.
Oben: Bezugsgröße Trockensubstanz (µg/g TRS).
Unten: Bezugsgröße Blattfläche (µg/dm² Blattfläche).

te zur Hauptwindrichtung scheint daher keinen Einfluß auf die Höhe der Schwermetailgehalte des Herbstlaubes zu haben. Dagegen muß die Reichweite der verkehrsbedingten Schwermetallkontamination des Herbstlaubes bei dem parallel zur Hauptwindrichtung verlaufenden Transekt III größer eingeschätzt werden. So erreichen die Bleigehalte dort erst nach 200-300 m Straßenentfernung ihr standortbedingtes Niveau. Bei der Bezugsgröße Blattfläche wird sogar eine Reichweite von bis zu 300 m Straßenentfernung erkennbar. Die Hauptwindrichtung hat daher eine Wirkung auf die Reichweite der verkehrsbedingten Schwermetallkontamination straßennaher Waldökosysteme.

Die Ergebnisse der Transekte II und III über die höheren Schwermetallgehalte der Schattenblätter gegenüber den Sonnenblättern werden im Transekt IV bestätigt. Diese Aussage gilt nicht nur für die Blei- und Cadmiumgehalte, sondern auch für die anderen untersuchten Schwermetalle.

Bei den Analysen des Herbstlaubes sind nur für Blei Gradienten der Schwermetallbelastung erkennbar (Abb. 28). Wie erwartet zeigen sich zwei Spitzen der Schwermetallbelastung. Der erste liegt in unmittelbarer Nähe zur Autobahn A 3, die

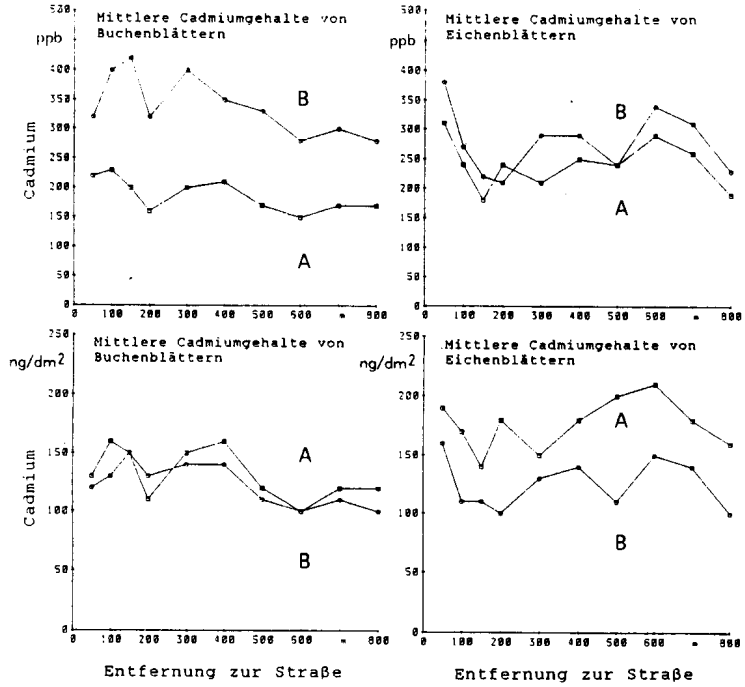


Abbildung 24 bis 27: Mittlere Cadmiumgehalte der Sonnenblätter (A) und Schattenblätter (B) von Buchen und Eichen entlang Transekt III.
Oben: Bezugsgröße Trockensubstanz (µg/g TRS).
Unten: Bezugsgröße Blattfläche (µg/dm² Blattfläche).

zweite. sehr viel kleinere Spitze liegt in unmittelbarer Nähe zur Bundesstraße B 43 in etwa 400 m Entfernung zur A 3.

Die Schwermetallanalysen der Streuproben zur Erfassung der Hintergrundbelastung im Frankfurter Stadtwald weisen relativ große Schwankungen auf. So betragen die Variationskoeffizienten zwischen 15 %(Blei) und 25 %(Kupfer). Entsprechend ist auch die Breite des 95 %-Vertrauensbereiches des Mittelwertes der Hintergrundbelastung mit Schwermetallen in den Abb. 29-33.

Im Verlauf von Transekt IV lassen sich in der Streu mehr oder weniger für alle untersuchten Schwermetalle drei Standorte mit erhöhter Schwermetallbelastung erkennen. Wie erwähnt tritt die höchste Schwermetallbelastung in unmittelbarer Nähe zur Autobahn A 3 auf. Der zweite, kleinere Gipfel befindet sich im Nahbereich der Bundesstraße B 43 in 400-500 m Entfernung zur A 3. Der dritte Peak der Schwermetallbelastung, der nur selten über den 95 %-Vertrauensbereich des Mittelwertes der Hintergrundbelastung hinausgeht, befindet sich in etwa 900 m Entfernung zur A 3 im Nahbereich einer größeren Waldlichtung. Aufgrund dieser Ergebnisse kann eine erhöhte Immissionsbelastung von straßennahen Buchenwaldöko-

systemen nicht nur durch Blei, sondern auch durch Cadmium. Zink, Kupfer und Chrom enthaltende Aerosole angenommen werden.

Ein Vergleich der Schwermetallgehalte von Herbstlaub und Streu ergibt eine im Durchschnitt 3 - 5fach höhere Schwermetallbelastung der Streu. Es muß daher davon ausgegangen werden, daß höchstens 20 % der gesamten Schwermetalldeposition des untersuchten Buchen-Eichen-Waldes über das Herbstlaub eingetragen wird, da der Streu zudem beträchtliche Schwermetallmengen durch horizontale und vertikale Verlagerungsprozesse entzogen wird.

3. Nitrat-, Sulfat- und Chloridgehalte im Boden

Zusätzlich zu den Schwermetallanalysen der Bodenhorizonte wurden im Transekt I auch die Nitrat-, Sulfat- und Chloridgehalte der A_h-Bodenhorizonte bestimmt (Tab. 6). Dazu wurden die standortfeuchten Bodenproben mit 10 mM Calciumacetat-Lösung xtrahiert (TABATABAI & DICK 1979) und die Anionengehalte nach Filtration mit einem Ionenchromatographen (Modell 10, Firma Dionex) gemessen (KOCHLER 1985).

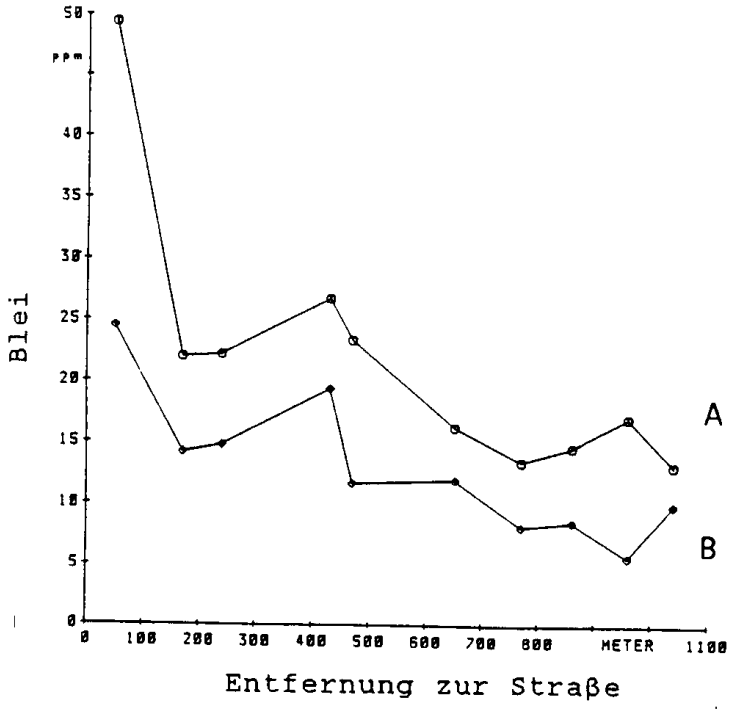
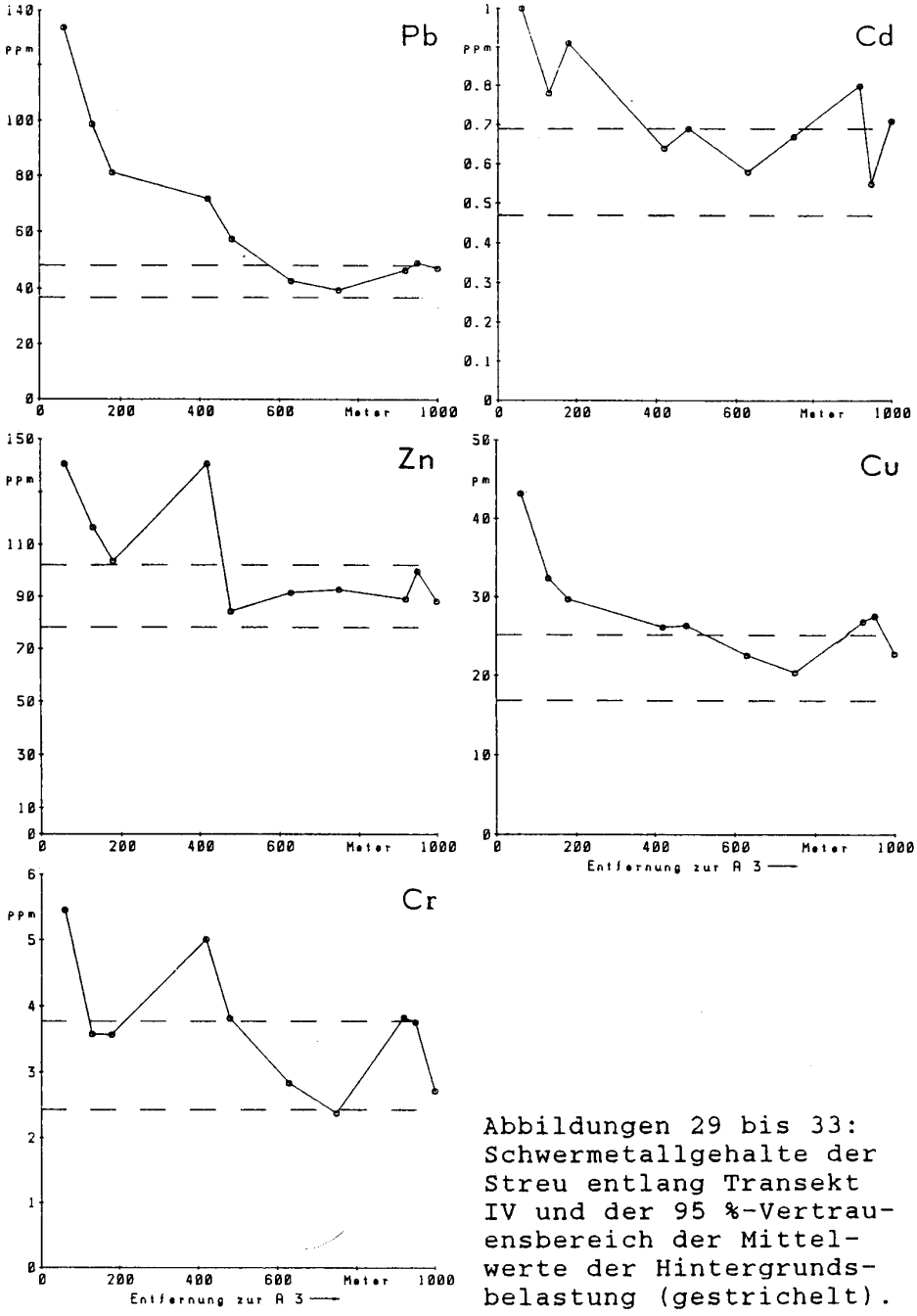


Abbildung 28: Bleigehalte (µg/g TRS) des Herbstlaubes von Sonnen- und Schattenblättern der Eiche entlang Transekt IV.



Abbildungen 29 bis 33: Schwermetallgehalte der Streu entlang Transekt IV und der 95 %-Vertrauensbereich der Mittelwerte der Hintergrundsbelastung (gestrichelt).

Bei der Auswertung der Gehalte aller drei untersuchten Anionen im Verlauf des Transekts I mit Hilfe des verteilungsfreien Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (SACHS 1984) fanden sich signifikante Beziehungen zur Straßenentfernung (Abb. 34).

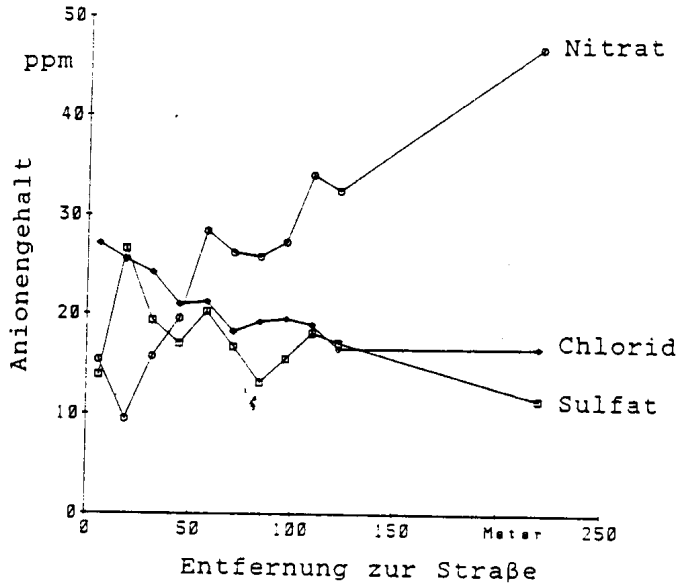


Abbildung 34: Nitrat-. Sulfat- und Chloridgehalte (µg/g TRS) von A_h-Bodenhorizonten entlang Transekt I.

Anion	Entfernung zur Straße (m)										
	6	19	32	45	58	71	84	97	110	123	220
NO_3^-	15,4	9,5	15,8	19,6	28,4	26,2	25,8	27,3	34,1	32,5	46,9
SO_4^-	13,9	26,6	19,4	17,1	20,3	16,8	13,2	15,6	18,2	17,2	11,5
Cl^-	27,1	25,5	24,2	21,0	21,3	18,3	19,3	19,6	19,0	16,6	16,7

Tabelle 6: Nitrat-, Sulfat- und Chloridgehalte (µg/g TRS) in A_h-Bodenhorizonten entlang Transekt I.

Die Zunahme der Nitrationen mit steigender Straßenentfernung deutet auf einen Einfluß der Straße auf Prozesse des Stickstoffkreislaufes im untersuchten Waldboden, möglich wäre zum Beispiel eine Hemmung der Nitrifikation. Die Abnahme der Chloridgehalte mit zunehmender Straßenentfernung ist wahrscheinlich auf den winterlichen Streusalzeinsatz zurückzuführen, wobei die Reichweite der Salzdepo-

sition höchstens etwa 100 m beträgt. Auch die Sulfatgehalte der untersuchten BödPn nehmen im Verlauf des Transekts I ab. Dies gilt allerdings nur unter vergleichbaren Bodenverhältnissen. Der niedrige Sulfatgehalt im 6 m von der Straße entfernten Boden könnte auf die alkalische Bodenreaktion zurückzuführen sein und ein etwaiger Sulfateintrag durch Calcium zu Gips ausgefällt werden, der mit dem verwendeten Extraktionsmittel nicht löslich ist. Trotz der Relativität der mit der hier verwendeten Methode gefundenen Werte kann ein Zusammenhang der Nitrat-, Sulfat- und Chloridgehalte im Boden mit der Entfernung zur Straße vermutet werden.

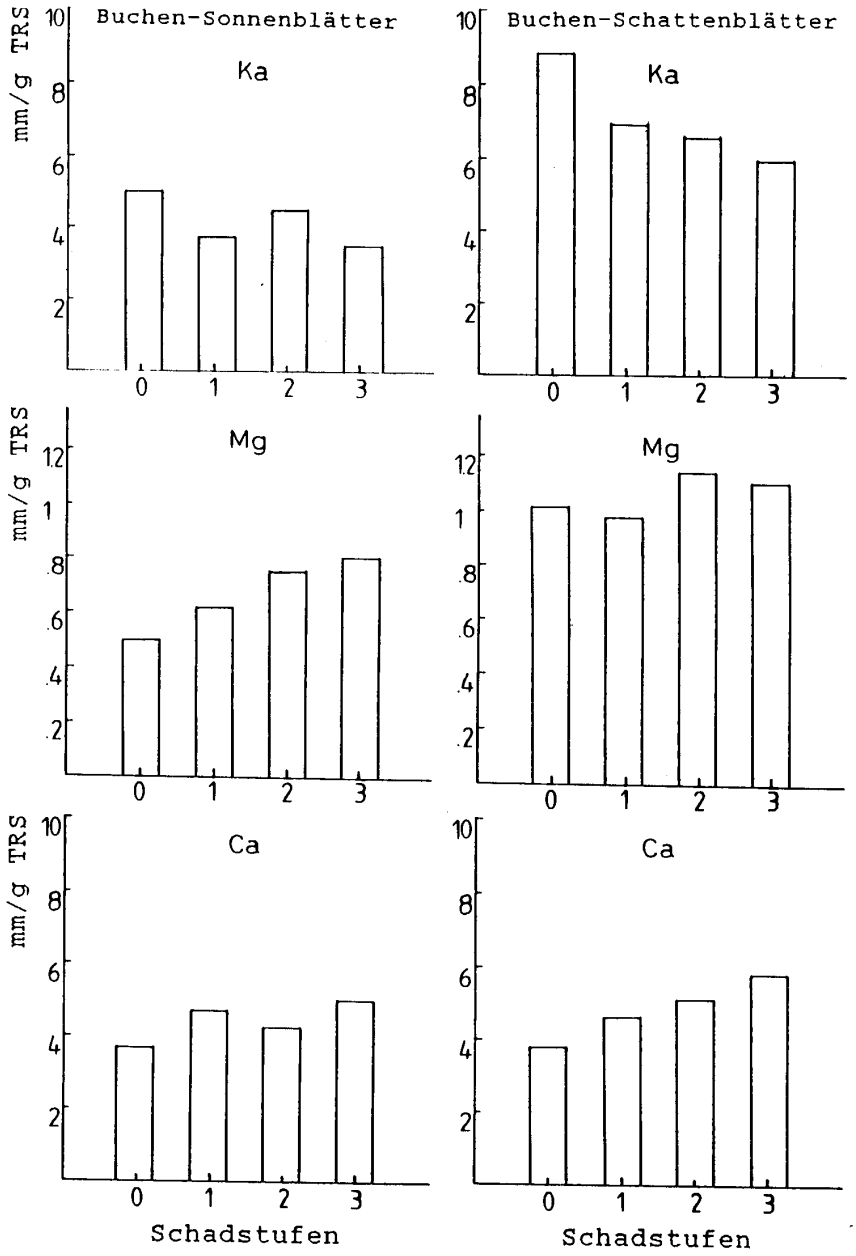
4. Kalium-, Calcium- und Magnesiumgehalte im Herbstlaub von Buchen unterschiedlicher Schadstufen

Bei den Schwermetallanalysen des Herbstlaubes der Transekte II bis IV wurden Laubproben unterschiedlich stark geschädigter Buchen der chemischen Naßveraschung zugeführt. Für die Untersuchung der Nährstoffgehalte wurden davon je vier Bäume der Schadstufen O, 1, 2 und 3 ausgewählt. Die Zuordnung zu den Schadstufen erfolgte mit der Hilfe der visuellen Beurteilung der einzelnen Bearbeiter nach Kronenverlichtung, Vergilbung der Blätter und peripherer Astdürre. Von jedem Baum wurden die Kalium-, Calcium- und Magnesiumgehalte getrennt nach Sonnen- und Schattenblättern für die Sammelzeiträume Oktober, November und Dezember bestimmt.

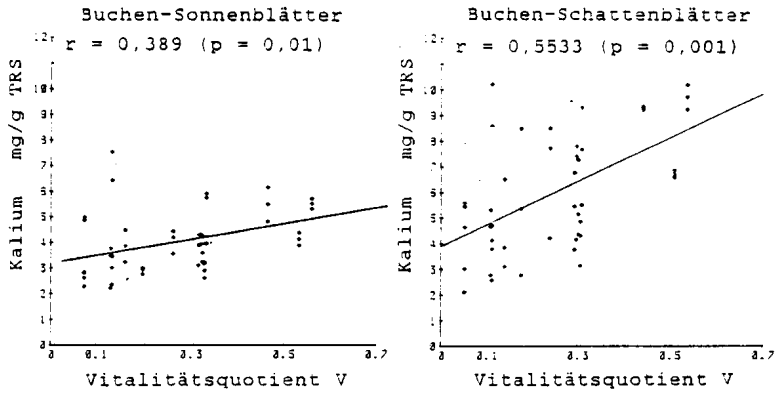
Die Nährstoffanalysen ergaben, daß im untersuchten Herbstlaub die durchschnittlichen Gehalte an Kalium (Sonnenblätter: 0,37 %; Schattenblätter: 0,60 %), Calcium (Sonnenblätter: 0,45 %; Schattenblätter: 0,49 %) und Magnesium (Sonnenblätter: 0,065 %; Schattenblätter: 0,10 %) um etwa die Hälfte niedriger liegen, als in vergleichbaren Untersuchungen von zum Beispiel FLOCKIGER & al. (1986) an grünen Buchenblättern. Bei Kalium und Magnesium, nicht jedoch bei Calcium konnten ferner in Schattenblättern signifikant höhere Gehalte als in Sonnenblättern festgestellt werden.

Weder bei Calcium noch bei Magnesium wurden signifikante Unterschiede zwischen den Sammelzeiträumen beobachtet. Dagegen sind die Kaliumgehalte der Sonnen- und Schattenblätter im Sammelzeitraum Dezember signifikant niedriger als in den beiden Vormonaten. Die mittleren Nährstoffgehalte je Schadstufe (Abb. 35-40) der untersuchten Herbstlaubproben lassen Tendenzen erkennen, die auf eine Änderung der Nährstoffgehalte mit zunehmender Schädigung der Buchen hindeuten. Besonders deutlich sind diese Tendenzen bei den Kalium- und Calciumgehalten der Schattenblätter, sowie den Magnesiumgehalten der Sonnenblätter.

Mit Hilfe des triebmorphologischen Vitalitätsquotienten (siehe Kapitel B) wurde nun versucht, die beobachteten Tendenzen durch Berechnung signifikanter Korrelationen zwischen dem Schädigungsgrad der Buchen und den Nährstoffgehalten des Herbstlaubes genauer zu charakterisieren. Dazu wurden, getrennt nach Sonnen- und Schattenblättern, die Nährstoffgehalte aller drei Sammelzeiträume verwendet (n = 48).



Abbildungen 35 bis 40: Kalium-, Calcium- und Magnesiumgehalte (mg/g TRS) in Sonnen- und Schattenblättern des Herbstlaubes von Buchen unterschiedlicher Schadstufen.



Abbildungen 41 und 42: Korrelation zwischen Kaliumgehalt von Sonnen- und Schattenblättern des Herbstlaubes von Buchen und den Vitalitätsquotienten als Ausdruck des Schädigungsgrades der untersuchten Bäume.

Es konnte eine signifikante Abnahme der Kaliumgehalte von Sonnen- und Schattenblättern des untersuchten Herbstlaubes von Buchen mit zunehmendem Schädigungsgrad der Bäume festgestellt werden (Abb. 41 und 42). Eine nach Sammelzeiträumen getrennt durchgeführte Korrelationsanalyse (n = 16) zeigte, daß nur im Sammelzeitraum Dezember hochsignifikante (p = 0,001) Beziehungen zum Schädigungsgrad auftraten. Da gleichzeitig die Kaliumgehalte der Dezember-Blätter deutlich gegenüber den Vormonaten erniedrigt sind, läßt sich eine vermehrte Kaliumauswaschung (leaching) aus dem Herbstlaub mit zunehmendem Schädigungsgrad der Buche vermuten.

Dagegen zeigen die Calciumgehalte des untersuchten Herbstlaubes einen signifikanten Anstieg mit zunehmendem Schädigungsgrad der Buchen. Nur die Magnesiumgehalte der untersuchten Sonnenblätter, nicht die der Schattenblätter des Buchen-Herbstlaubes lassen auf eine signifikante Beziehung zum Schädigungsgrad der Bäume schließen, wobei auch hier ein Anstieg mit zunehmender Schädigung zu erkennen ist (Abb. 43). Weder bei Calcium, noch bei Magnesium lassen sich Unterschiede bei getrennter Korrelationsanalyse der Sammelzeiträume erkennen.

Bei Rückschlüssen von Nährstoffgehalten des Herbstlaubes auf mögliche Schadsymptome oder -ursachen der untersuchten Bäume ist äußerste Vorsicht geboten. Unter anderem könnte der Anstieg der Calcium- und Magnesiumgehalte des Herbstlaubes mit zunehmendem Schädigungsgrad der Bäume zum Beispiel auf einen verminderten Rücktransport der Nährstoffe am Ende der Vegetationsperiode zurückzuführen sein. Weiterhin ist daran zu erinnern, daß im Jahre 1985 auf4rund des außergewöhnlichen Witterungsverlaufes der Laubfall der Buche bis in den Dezember dauerte.

Nochmals sei darauf verwiesen, daß die Zuordnung der Werte zu den Schadstufen in den Histogrammen nach visueller Schätzung durch den Bearbeiter erfolgte. Zur

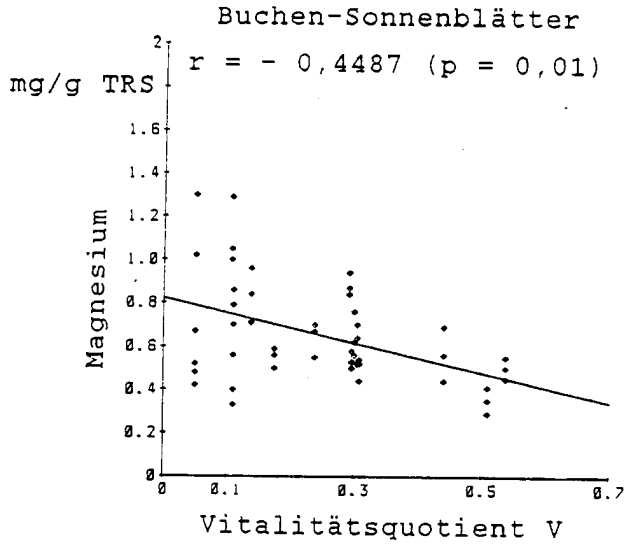


Abbildung 43: Korrelation zwischen Magnesiumgehalten von Sonnenblättern des Herbstlaubes von Buchen und den Vitalitätsquotienten der untersuchten Bäume.

Berechnung der Korrelationen wurde der Vitalitätsquotient verwendet, dadurch wurde unseres Erachtens eine bessere Aussage erreicht.

E. Ausblick

Es wurde von uns nicht angestrebt oder erwartet, Kausalzusammenhänge zwischen Schwermetallbelastung in den pflanzlichen Organen und den als Vitalitätsminderung beobachtbaren Waldschäden festzustellen. Hierzu reichen Freilanduntersuchungen allein nicht aus. Die Bestimmung der Schwermetalle war vielmehr ein Mittel („trigger"), den verstärkten Schadstoffeintrag durch Kraftfahrzeugabgase nachzuweisen. Die von uns durchgeführten Untersuchungen belegen, daß trotz der ohen Immissions-Belastung des Frankfurter Raumes durch Flugzeugverkehr und Industrie auch Gradienten in der Schwermetall-Deposition von der Straße bis zum Abstand von mindestens 100 m bis 200 m in den Wald hinein vorliegen. In der Vegetation sind Schadsymptome vorhanden, bisher jedoch von uns noch nicht als Schadgradient „meßbar". Dies dürfte, wie die durchgeführten Untersuchungen andeuten, vor allem durch die noch unausgereiften Erfassungskriterien bedingt sein. Es muß daher die Aufgabe vegetationskundlicher Forschungen sein, einerseits festzustellen, welche sonstigen Verbindungen von den Straßen aus die Vegetation belasten, andererseits verfeinerte Methoden zu entwickeln, welche die Symptomatik der Waldschäden genauer erfassen.

Das Waldschadensproblem ist nicht nur eine Herausforderung an das Fach Pflanzen-

physiologie (siehe BUGER & MOHR 1987), sondern an Botaniker aller Fachrichtungen.

Danksagung

Die geschilderten Untersuchungen hätten nicht in diesem Umfang durchgeführt werden können ohne die Hilfe und den steten Einsatz der beteiligten Examenskandidaten und der im Projekt bzw. im Institut für Biologie-Didaktik beteiligten Mitarbeiterinnen. Ihnen allen danken wir herzlich. Dank für Unterstützung und gute Zusammenarbeit schulden wir ferner Herrn Dr. JAESCHKE im Zentrum für Umweltforschung sowie Herrn Forstdirektor Dr. EBERT und Herrn Forstassessor LAMBERTY. Für Hinweise und anregende Diskussionen danken wir Herrn Prof. Dr. SCHAUB und den Mitgliedern seiner Arbeitsgruppe.

F. Literatur

BÖGER P. & H. MOHR 1987: Pflanzenphysiologische Beiträge zur Waldschadensforschung. - Allg. Forstzeitschr. („Forst Zeitschr.“) **42**, 691-692, München.

BOHN U. 1981: Vegetationskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000 - Potentielle natürliche Vegetation - Blatt CC 5518 Fulda. - Schriftenr. Vegetationskunde **15**, 1-330, Bonn-Bad Godesberg.

BREDOW B. von, A. BÜGGERT, A. ECKHOFF, B. HOLLSTEIN, M. NEUMANN, R. SCHINDEL, A. WEBER, S. ZECH & V. GLAVAC 1986: Vergleichende Untersuchung der Boden-, Wurzel- und Blatt-Mineralstoffgehalte von Bäumen verschiedener Schadstufen in einem immissionsbelasteten Altbuchenbestand. - Allg. Forstzeitschr. **41**, 551-554, München.

DIERSCHKE H. 1985: Pflanzensoziologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens. II. Syntaxonomische Übersicht der Laubgesellschaften und Gliederung der Buchenwälder. - Tuexenia **5**, 491-521, Göttingen.

- 1986: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens. III. Syntaxonomische Gliederung der Eichen-Hainbuchenwälder, zugleich eine Übersicht der Carpinion-Gesellschaften Nordwest-Deutschlands. - Tuexenia **6**, 299-323, Göttingen.

ELLENBERG H. 1979: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas.- Scripta Geobotanica **9**, 1-97, Göttingen.

FLÜCKIGER W., S. BRAUN, H. FLÜCKIGER-KELLER, S. LEONARDI, N. ASCHE, Z. BÜHLER & M. LIER 1986: Untersuchungen über Waldschäden in festen Buchenbeobachtungsflächen der Kantone Basel-Land, Basel-Stadt, Aargau, Solothurn, Bern, Zürich und Zug. - Schweiz. Zeitschr. Forstwesen **137**, 917-1010, Zürich.

Forstamt Frankfurt a. M. 1986: Frankfurter Stadtwa1d/Standorttypenkarte. Bearbeitung ifp-Institut für Planungsdaten. 2 Karten, nicht im Handel.

GLAVAC V. 1986a: Strukturaufbau und Umweltbedingungen der nordhessischen Linden-Bergulmen-Hangschuttwälder (Tilio-Ulmetum glabrae) am Beispiel des Baunsberges bei Kassel. - Abhandl. Landesmuseum Naturkunde Münster (Westf.) **48**, 129-141, Münster/Westf.

- 1986b: Die Abhängigkeit der Schwermetalldeposition in Waldbeständen von der Höhenlage. - Natur und Landschaft **61**(2), 43-47, Köln.

- 1987a: Ist die Abnahme der Ca-, Mg-, K- und Zn-Gehalte in Blättern immissionsgeschädigter Altbuchen die Folge vergrößerter Blattauswaschung oder verminderter Mineralstoffversorgung? Vortrag anläßlich der 15. Jahrestagung der Ges. f. Ökologie (GfÖ), 29. 9. bis 2. 10. 1986 in Gießen. - Vorabdruck aus Verh. Ges. für Ökologie.

- 1987b: Auswaschung durch saure Niederschläge. Calcium-, Magnesium-, Kalium- und Zink-Gehalte in Blättern eines immissionsgeschädigten Rendzina-Buchenwaldes. -Allg. Forstzeitschr. **42**, 303-305, München.

GLAVAC H., H. JOCHHEIM, H. KOENIES, R. RHEINSTADTER & H. SCHÄFER 1985a: Einfluß des Stammablaufwassers auf den Boden im Stammfußbereich von Altbuchen in unterschiedlich immissionsbelasteten Gebieten. - Allg. Forstzeitschr. Sonderdruck 51/52 -1985, München.

- - - - - 1985b: Bodenchemische Zustände der stammablaufwasserbeeinflußten Altbuchen-Fußbereiche in durch Immissionen unbelasteten und belasteten Gebieten - Das Problem

der „Null-Flächen“, In: Exkursionsführer des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Univ. Göttingen, Sommer 1985, 100-117, Göttingen.

GLAVAC V. & H. KOENIES 1986a: Kleinräumige Verteilung der pflanzenaufnehmbaren Minera1-stoffe in den vom Stammabflußwasser beeinflußten Bodenbereichen alter Buchen verschiedener Waldgesellschaften. - Düsseldorfer Geobot. Koltoq. **3**; 3-13, Düsseldorf.

- - 1986b: Kleinräumige Konfiguration wichtiger bodenchemischer Meßgrößen in dem vom Stammablaufwasser beeinflußten Bodenbereich alter Buchen. - Verhandl. Ges. für Ökologie **14**, 293-298, Göttingen.

JOCHHEIM H. 1985: Der Einfluß des Stammabflußwassers auf den chemischen Bodenzustand und die Vegetationsdecke in Altbuchenbeständen verschiedener Waldgesellschaften. - Ber. des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben **13**, 1-225, Göttingen.

KLAUSING O. & A. WEISS 1986: Standortkarte der Vegetation in Hessen 1:200.000. Potentielle natürliche Vegetation der Waldfläche und natürliche Standorteignung für Acker- und Grünland. - Schriftenr. Hess. Landesanstalt für Umwelt **33**, 1-20, 1 Karte, Wiesbaden.

KNAPP R. 1967: Die Vegetation des Landes Hessen. - Ber. Oberhess. Ges. Natur- und Heilkunde N. F., Naturwiss. Abt. **35**, 93-148, Gießen.

KOENIES A. 1982: Ober die Eigenart der Mikrostandorte im Fußbereich der Altbuchen unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetallgehalte der organischen Auflage und im Oberboden. Eine vegetations- und landschafts-ökologische Studie. -Diss. Univ. Kassel, Ber. des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben, Univ. Göttingen **9**, 1-288, Nachdruck „1985“, Göttingen.

KREEB K. H. 1977: Methoden der Pflanzenökologie. - Jena, Stuttgart, New York. 331 S.

KÜCHLER A. von 1985: Schwermetal1akkumulation in Phanerogamen eines Tiefland-Buchenwald bei Frankfurt/Main. - unveröffentlichte Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Universität Frankfurt. 99 S.

LIPSER H. 1956: Der Wald in der Offenbacher Landschaft. Stadt- und Landkreis Offenbach a. M. Studien und Forschungen. - Beihefte zum Atlas für Siedlungskunde, Verkehr, Verwaltung, Wirtschaft und Kultur, Heft **2**, Offenbach.

MAYER R. 1981: Natürliche und anthropogene Komponenten des Schwermetallhaushalts von Waldökosystemen. - Göttinger Bodenkundl. Ber. **70**, 1-292, Göttingen

MITSCHERLICH G. 1978: Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 1.- J. D. Sauerländer, Frankfurt a. M. 144 S.

ROLOFF A. 1984: Morphologie der Verzweigung von Fagus sylvatica L. (Rotbuche) als Grundlage zur Beurteilung von Triebanomalien und Kronenschäden. - Ber. des Forschungszentrums Waldökologie/ Waldsterben, Univ. Göttingen, **3**, 1-25, Göttingen.

- 1985a: Schadstufen bei der Buche - Vorschlag für eine bundeseinheitliche Einordnung der Buche in vier Schadstufen bei terrestrischen Aufnahmen. - Forst- und Holzwirt **40**, 131-134, Hannover.

- 1985b: Untersuchungen zum vorzeitigen Laubfall und zur Diagnose von Trockenschäden in Buchenbeständen. -Allg. Forstzeitschr. **90**, 157-160, München.

- 1986: Morphologie der Kronenentwicklung von Fagus sylvatica L. (Rotbuche) unter besonderer Berücksichtigung möglicherweise neuartiger Veränderungen. - Diss. Univ. Göttingen. Ber. des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben, Univ. Göttingen 18, 1-177, Göttingen.

SACHS L. 1984: Angewandte Statistik, 6. Aufl. - Springer, Berlin. 552 S.

SMITH F. G. 1953: The wet ashing of organic matter employing hot concentrated perchlorid acid. - The liquid fire reaction. - Analytica chimica Acta **8**, 397-421, Amsterdam.

STEUBING L. 1965: Pflanzenökologisches Praktikum. - Parey. Berlin, Hamburg. 262 5.

STREITZ H. 1967: Bestockungswandel in Laubwaldgesellschaften des Rhein-Main-Tieflandes und der Hessischen Rheinebene. - Dissertation, Forstl. Fak. Univ. Göttingen. Hann. Münden. 305 S.

TABATABAI M. A. & W. A. DICK 1979: Ion chromatographic analysis of sulfate and nitrate in soils. - In: MULIK Y. D. & E. SAWICK (eds.): Ion chromatographic analysis of environmental pollutants **2**, 361-370, Ann Arbor, Michigan.

WENTZEL K. F. 1971: Habitus-Änderung der Waldbäume durch Luftverunreinigungen. - Forstarchiv 41(8/9), 165-172, Hannover.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanik und Naturschutz in Hessen

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: 2

Autor(en)/Author(s): Gies Theodor, Braun Heinz

Artikel/Article: Die Wirkung von Luftverunreinigungen aus Verbrennungsmotoren auf den Frankfurter Stadtwald unter ökoligsch-vegetationskundlichem Aspekt 5-48