

Aus der Sektion Pflanzenproduktion
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Wissenschaftsbereich Agrarökonomie
(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Dr. H. Howitz)

Zur Bleibelastung landwirtschaftlicher Nutzflächen unter geographischen Aspekten im Bezirk Halle

Von **Dietmar Sandner**

Mit 4 Tabellen

(Eingegangen am 25. Februar 1985)

1. Einleitung

Die weitere Intensivierung der sozialistischen Landwirtschaft erfordert die Berücksichtigung landeskultureller Aspekte. So sind u. a. Schadstoffbelastungen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen durch andere Wirtschaftsbereiche zu analysieren und durch geeignete Maßnahmen bezüglich Umfang und Wirkung zu minimieren.

Aus dem Komplex möglicher Belastungen wurde 1980/81 eine Untersuchung zur verkehrsabgasbedingten Bleiemission und -immission in landwirtschaftlich genutzten Gebieten des Bezirkes Halle durchgeführt. Die im Bezirk vorhandene hohe Straßennetzdichte und die Zunahme der Verkehrsstärke, vor allem in den letzten 10 Jahren, bewirkte eine regional unterschiedliche, bandartige verzweigte Kontamination von landwirtschaftlichen Nutzflächen in Straßennähe mit Bleiverbindungen.

Wesentliche Ziele dieser Untersuchung waren deshalb die gebietlich differenzierte Erfassung von Bleiemission und -immission sowie deren Bewertung. Da die hauptsächlich ökonomische wie auch ökologische Bedeutung der Straßennahgebiete aus ihrer Funktion als Standort landwirtschaftlicher, gärtnerischer und forstwirtschaftlicher Nutzpflanzen und deren möglicher hygienisch-toxischer oder phytotoxischer Wertbeeinträchtigung durch Kraftfahrzeugabgasemissionen resultiert (Heinisch u. a. 1977), wurden hier erstens die Bleiemission auf den wichtigsten Trassen des Bezirkes und zweitens die Immissionsbelastung von in Straßennähe wachsenden landwirtschaftlichen Nutzpflanzen untersucht.

2. Bleiemission durch den Straßenverkehr im Bezirk Halle

Von dem im Benzin enthaltenen Gesamtblei werden etwa 70 bis 80 % mit dem Abgas emittiert (Höll und Hamp 1974); der Rest verbleibt im Ölfilter, im Ölschlamm und im Auspuffsystem. Vom emittierten Blei lagern sich bis zu 20 % in unmittelbarer Nähe der Straße ab, weitere Anteile können etwas weiter transportiert werden bzw. steigen in höhere Luftschichten auf und kehren als „fall out“ auf den Erdboden zurück (Murozumi u. a. 1969). Bezüglich der Menge des emittierten Bleis in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke stellte Keller (1970) fest, daß bei einem Bleizusatz bis 0,4 g/l Benzin und beispielsweise einer Straßendichte von 2000 bzw. 3000 Kraftfahrzeugen pro Stunde 40 bis 60 bzw. 60 bis 90 g Blei/km Fahrbahn emittiert werden. Als durchschnittlichen Benzinverbrauch gab er dazu 10 l/100 km an.

Durch die Kombination von durchschnittlichen Emissionsraten mit entsprechenden

bekanntem Verkehrsstärken lassen sich folglich zumindest Näherungswerte zum Umfang der Bleiemission auf den Straßen gewinnen.

Die für die DDR vorliegenden Verkehrszählungen weisen die straßenspezifischen Verkehrsbelastungen aus. Die entsprechenden Angaben zur Stärke des benzinverbrauchenden Verkehrs (16 Stundenmittel) wurden der Verkehrszählung von 1980 entnommen.

Um die Bleiemission auf den jeweiligen Trassen des Bezirkes zu quantifizieren, mußten die Emissionsraten von Keller (1970) den DDR-Verhältnissen angepaßt und auf die 16 Stundenmittelwerte der Verkehrszählung von 1980 bezogen werden. Die Umrechnung der Angaben „alle Kraftfahrzeuge pro Stunde (Stunde der Spitzenbelastung)“ in die Anzahl der „Benzinfahrzeuge in 16 Stunden“ war möglich, da in den Unterlagen der DDR-Verkehrszählung von 1980 beide Größen enthalten sind. Die Anpassung der Emissionsraten an die DDR-Verhältnisse beinhaltet im wesentlichen eine Verminderung der Emissionsmengen bei gleicher Verkehrsstärke um 20 %, basierend auf dem bei uns vorgeschriebenen Bleitetraäthylgehalt von 0,31 g/l und eine Einteilung der Trassen in drei Intensitätsklassen (vergleiche Tab. 1).

Tabelle 1. Intensitätsklassen der Emission

Klasse	Bleiemission g/Fahrbahnkilometer und Stunde	Anzahl der Benzin- kraftfahrzeuge in 16 Stunden
I	10 ... 20	3000 ... 6000
II	> 20 ... 40	> 6000 ... 10 000
III	> 40	> 10 000

Das Datenmaterial der 180 ausgewerteten Zählstrecken des Bezirkes resultiert aus der Kombination von Kurz- und Regelzählungen. Die Kurzzählungen von Mai bis September basieren auf Zählzyklen von neun, sechs bzw. weniger als sechs Tagen. Bei neun und sechs Tageszyklen galt ein Sonntags-Wochentagsverhältnis von drei zu sechs bzw. zwei zu vier. Gezählt wurde täglich vier Stunden von 14.00 bis 18.00 Uhr. Die Kurzzählungen wurden auf allen Zählstrecken durchgeführt. Mit Pegelzählungen für ausgesuchte Gebiete und einem repräsentativen Teil der Zählstrecken wurde das Kurzzeitmaterial vervollständigt, hier wurde 16 Stunden hintereinander von 5.00 bis 21.00 Uhr (+ 10 % = 24 Stunden) gezählt. Aus diesem Material und in Anlehnung an bereits früher erfolgte Zählungen ergab sich für die Zählstrecken die tägliche, wöchentliche und jährliche Verkehrsverteilung.

Die Endresultate für die einzelnen Zählstrecken stellen die Jahresdurchschnittswerte für die Stunde der Spitzenbelastung und das Verkehrsaufkommen in 16 Stunden, untergliedert nach verschiedenen Kraftfahrzeugarten (Moped, Krad, PKW, LKW, KOM), dar. Die jeweilige Zählung an der Straße erfolgte auf einem festgelegten Punkt; der schließlich ermittelte Endwert bezieht sich auf die Strecke zwischen zwei Einmündungen von mindestens bezirklicher Bedeutung. Vom Umfang her ist somit der wichtigste Teil des Bezirksstraßennetzes in die Zählung einbezogen.

Weiterhin wurden die Zählstrecken hinsichtlich Verkehrsverteilung und Kraftfahrzeugzusammensetzung in vier Typen gegliedert. Aus der Typisierung, die im folgenden kurz erläutert wird, lassen sich ebenfalls Aussagen zur Emissionsproblematik (zeitliche Verteilung, Abgaszusammensetzung) ableiten:

SF – „Straßen mit Wirtschaftsverkehr und hohem Anteil des Ferienverkehrs bei geringem Sonntagsverkehr“,

- WF – „Straßen mit Wirtschaftsverkehr und hohem Anteil des Ferienverkehrs bei geringem Sonntagsverkehr“,
 F – „Straßen mit vorwiegend Ferienverkehr bei beliebig großem Sonntagsverkehr“ und
 W – „Straßen mit überwiegend Wirtschaftsverkehr bei geringem Sonntags- und Ferienverkehr“.

Hinsichtlich Emissionsverhalten und damit verbundenen Immissionswirkungen müssen die Typen SF, WF und F als lufthygienisch ungünstiger als W eingeschätzt werden. Hier dominieren in den Sommermonaten die Benzinabgasemissionen bei mittlerer bzw. geringer Dieselasgasemission. Die Emissionsspitzen dieser Typen fallen hauptsächlich in der Zeit der Reifeperiode der wichtigsten Nutzpflanzen. Der Typ W „mit einer jährlich relativ gleichbleibenden starken Diesel- und mittleren Benzinabgasemission mit wöchentlich auftretenden Schwankungen“ kann deshalb bezüglich Schadwirkungen hinter SF, WF und F eingeordnet werden.

Die Auswertung der Verkehrszählung von 1980 erbrachte für die 180 ausgewählten Zählstrecken im Bezirk Halle einen Durchschnittswert von 3243 Benzinkraftfahrzeugen (Mopeds, Kräder, PKW, leichte LKW) in 16 Stunden (Min.: 407, Max.: 14 336). Eine Zusammenstellung der Werte der Verkehrszählungen von 1975 und 1980 gibt die Tabelle 2.

Tabelle 2. Durchschnittswerte, Extreme und Steigerungsraten der aus den Straßenverkehrszählungen von 1975 und 1980 ermittelten Werte (Summe der Benzinfahrzeuge in 16 Stunden)

	Zählung 1975	Zählung 1980	Steigerung von 1975 bis 1980
ausgewertete Zählstrecken	180	180	
Benzinfahrzeuge in 16 h (Durchschnitt)	2 698	3 243	120 %
Maximum	8 207	14 336	175 %
Minimum	330	407	123 %

Bei der Einordnung der Zählstreckenwerte in die mit Hilfe der Emissionsraten gebildeten drei Klassen ergab sich, daß 497 km des Bezirksstraßennetzes in der klassifizierten Bereich fallen (330 km – Klasse I, 87 km – Klasse II, 80 km – Klasse III).

Die Zuordnung der Verkehrsstreckentypen zu den klassifizierten Strecken zeigte, daß die Typen mit den in den Sommermonaten relativ ungünstigen Emissionsverhältnissen (SF, WF, F) 84 % der Strecken repräsentieren.

3. Bleiimmission bei Pflanzen

Nach Schätzung liegt die durchschnittliche Bleiaufnahme des Menschen heute täglich zwischen 150 bis 3000 $\mu\text{g}/\text{d}$. Der überwiegende Teil dieser Bleimengen wird mit der Nahrung aufgenommen (Leh 1966, Borbeli 1970), nicht zuletzt aus diesem Grund sind Untersuchungen zur Bleiimmission in Landwirtschaftsgebieten von Bedeutung.

Bereits in den sechziger und siebziger Jahren wurde der Beeinflussung der Vegetation durch Bleiimmissionen zunehmende Aufmerksamkeit gewidmet. Neben der industriellen Belastung wurde hauptsächlich die Bleikontamination von Pflanzen in Straßennähe untersucht. Deutlich erhöhte Bleigehalte der Pflanzen ließen sich an Autobahnen und stark befahrenen Straßen bis 50 bzw. 100 m, in manchen Fällen sogar bis in 200 m Straßentfernung nachweisen (Kloke und Leh 1969, Zuber u. a. 1970).

Die Intensität der Bleibelastung von in Straßennähe wachsenden Pflanzen ist von einem Komplex variierender Einflüsse abhängig. Dazu gehören beispielsweise:

- Linienführung der Straße
- Verkehrsstärke und -verteilung
- Beschaffenheit der Straßenumgebung (Relief, geländeklimatische Situation)
- Straßenrandbebauung
- Straßenrandbepflanzung
- Witterungsbedingungen während der Vegetationszeit
- Bodenverhältnisse
- Straßenentfernung des Wuchsortes der Pflanzen
- Expositionszeit der Pflanzen
- pflanzenphysiologische Eigenschaften, die Bleiaufnahme und -ablagerung beeinflussen können.

So gilt, daß Pflanzen mit großflächigen, ausgebreiteten, behaarten, ausgezackten, stark gefiederten oder waagrecht stehenden Blättern und mit behaarten bzw. rauhhäutigen Früchten mehr Blei adsorbieren als vergleichsweise Pflanzen mit hochgewachsenen, schmalen, glatten und senkrecht stehenden Blättern (Kloke und Leh 1969, Zuber u. a. 1971). Durch die Vielzahl der komplex wirkenden Einflußfaktoren kann es vorkommen, daß äußerlich ähnliche Pflanzen, deren Probenahme zur gleichen Zeit und nur in geringerer Entfernung erfolgte, bemerkenswerte Unterschiede bezüglich ihres Bleigehaltes zeigen (Sommer u. a. 1971). Deshalb muß bei Untersuchungen zur Bleibelastung der Vegetation auch innerhalb gleicher Pflanzenarten bei ähnlichen Immissionsbelastungen mit beträchtlichen Streuungen der Werte gerechnet werden.

Die Pflanze nimmt das Blei je nach Art in unterschiedlicher Menge teilweise aus dem Boden, aber hauptsächlich durch Adsorption aus der Luft in Form von Staubablagerungen auf (Siddiqui und Wagner 1973). Das Primat der Oberflächenkontamination wird durch die Abwaschbarkeit der Bleiverbindungen bestätigt. Die Abwaschbarkeitsraten der Bleiverbindungen schwanken in Abhängigkeit vom Habitus der Pflanzen und dem Waschvorgang (Waschmittel, Waschzeit) zwischen 5 bis 92 % des Gesamtbleigehaltes. Dabei liegt das Spektrum der ermittelten Werte bei normalem Waschen mit Leitungswasser etwa zwischen 5 bis 30 %.

Auch die jahreszeitliche Entwicklung der Bleikontamination von Pflanzen deutet auf den überwiegenden Anteil der Oberflächenkontamination hin. Der zeitliche Ablauf der Kontamination wird sowohl von der Einwirkungsdauer als auch von der pflanzlichen Substanzproduktion beeinflusst. In Zeiten großen Massenzuwachses hält die Bleiablagerung in vielen Fällen mit der Substanzproduktion nicht Schritt, so daß es zu einem Absinken des Bleigehaltes kommt. Die niedrigsten Bleigehalte treten deshalb im Mai, Juni und Juli auf. Im Herbst ist starker Anstieg der Bleilast typisch, gleiches gilt auch für überwinternde Pflanzenteile. Von den Nutzpflanzen sind deshalb Jungpflanzen im Frühjahr, erntereife Pflanzen im Spätsommer und Herbst sowie überwinternde oberirdische Pflanzenteile durchschnittlich am stärksten belastet (Sommer u. a. 1971, Horak u. a. 1976).

In Abhängigkeit vom Oberflächen-Volumen-Verhältnis und der Art und Beschaffenheit der Oberfläche adsorbieren die Pflanzen unterschiedliche Bleimengen. Oberirdisch wachsendes Gemüse, die meisten Gräser und Futterpflanzen, Rübenblätter und Kartoffelkraut, der obere Teil von Maispflanzen und kleine Früchte (Erd-, Stachel- und Johannisbeeren) zeigen im allgemeinen die höchsten, Getreide, Äpfel, Birnen u. a. voluminöser Früchte die niedrigsten Belastungswerte (Kloke u. a. 1966, Sommer u. a. 1971).

Als negative Wirkung wurde bei Staubaufgaben die Behinderung der Photosynthese und Atmung mit dem Ergebnis geringeren pflanzlichen Massenzuwachses

registriert. Die oft schwer abwaschbare Staubschicht führt weiterhin zu Schwierigkeiten bei der Weiterverwendung des pflanzlichen Materials, beispielsweise im Rahmen der Verfütterung oder der Silierung. Letztlich kommt es durch die Oberflächenkontamination zu einer Qualitätsverschlechterung und toxischen Beeinträchtigung der Erntegüter (Garber 1974).

Über das Problem der Bleiaufnahme aus dem Boden, im Zusammenhang mit der Pflanzenverfügbarkeit des Bleis, existieren trotz zahlreicher Untersuchungen teilweise unterschiedliche Auffassungen. Generell konnte auch hier ein sehr differenziertes Verhalten verschiedener Pflanzenarten festgestellt werden. Staiger (1984) kommt zu der Schlußfolgerung, daß dem Bleigesamtgehalt im Boden bzw. dem mit starken Säuren extrahierbarem Blei eine große Bedeutung für den Umfang des pflanzenverfügbaren Bleis zukommt, wenn bei der Beurteilung weitere Bodenparameter wie *pH*-Wert, Austauschkapazität, Gehalt an organischen Substanzen, Phosphatniveau und auch der Sättigungsgrad der Bleisorptionskapazität des jeweiligen Bodens berücksichtigt werden. Bezüglich der Eignung des Bodens als Pflanzenstandort gibt Kloke (1969) als Grenzwert für den maximalen Bleigehalt des Bodens, bei absoluter Unbedenklichkeit für alle Bodenarten mit großer Sicherheitsspanne, 100 mg Pb/kg TS an. Nach Herms und Brümmer (1980) bietet ein Bleigesamtgehalt von 200 mg Pb/kg TS im *pH*-Bereich von 4 bis 7 noch ökologisch hinreichende Sicherheit.

Wird bodenbürtiges Blei von der Pflanze aufgenommen, kann das aber im Vergleich zum oberflächlich abgelagerten Blei relativ große Schadwirkungen in der Pflanze auslösen. Das aus dem Boden aufgenommene Blei reichert sich in den Wurzeln an. Akkumuliert wird es hauptsächlich in den Zellvakuolen. Aus der Wurzel kann fast kein Blei in andere Pflanzenorgane verlagert werden (Kloke 1969, Garber 1974). Besonders die erste Phase der Pflanzenentwicklung ist nach Däßler (1976) auf bleikontaminierten Böden gefährdet.

Laborversuche mit Bleidüngung erbrachten sehr unterschiedliche Ergebnisse. In verschiedenen Fällen konnte ein Einfluß auf den Ertrag nicht nachgewiesen werden (Judel und Stelle 1977).

Eine Stimulierung der Bleiaufnahme wird mit relativ hohem Pektidgehalt von Pflanzen in Zusammenhang gebracht (Schenkling 1975). In den Wurzeln festgelegtes Blei bewirkt die Blockade von Enzymen und damit die Hemmung der Aufnahme wichtiger Nährstoffe, wie Mangan und Phosphor. Bei verschiedenen Pflanzen werden auch die Stärke- und Eiweißbildung vermindert und der Gehalt an Inhaltsstoffen negativ verändert. Weiterhin muß die Blei-Kadmium-Wechselwirkung berücksichtigt werden. Ab etwa 100 mg Blei pro kg Bodentrockensubstanz ist im allgemeinen eine verstärkte Kadmiumaufnahme in die Pflanzen zu registrieren. Die bisher empfohlenen maximal tolerierbaren Grenzwerte des Gesamtbleigehaltes für Nahrungs- und Futterpflanzen liegen aufgrund der hohen Toxizität von Blei insgesamt im Bereich unter 30 mg/kg pflanzlicher Trockensubstanz, und zwar bei 8 mg Pb je kg Nahrungsmittel bzw. 10 mg Pb je kg Futtermittel nach einer Empfehlung der EG-Futtermittelkommission von 1971 (. . . 1971) oder 25 mg je kg für Futtermittel nach Grün (1984).

4. Bleibelastung von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in ihrer geographischen Differenzierung

Zur Ermittlung der Bleikontamination von straßennahen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen im Bezirk Halle wurden auf zahlreichen Standorten Pflanzenproben untersucht. Es galt, den Zusammenhang von Bleigehalt der Pflanzen und Verkehrsstärke sowie Aussagen zur durchschnittlichen Belastung, angelehnt an bestimmte nutzungsrelevante Intensitätsstufen, zu bestimmen. Weitere Untersuchungsschwerpunkte waren

die Darstellung von Belastungsunterschieden bei verschiedenen Kulturpflanzen sowie die aus naturräumlichen und technogenen Besonderheiten resultierenden territorial differenzierten Belastungsmuster mittels einer spezifischen Raumtypisierung. Diese Typisierung soll die wichtigsten Muster der räumlichen Differenzierung der Bleibelastung komplex erfassen. Tabelle 3 beschreibt die neun Standorttypen.

Tabelle 3. Merkmale der Standorttypen

Bezeichnung	Merkmale/Probennahme
1. Flachrelief (nicht windexponiert)	Straßenverlauf in Hauptwindrichtung; Relief eben oder flach; Probennahme auf einer Straßenseite; drei Pflanzenmischproben
2. Flachrelief (windexponiert)	Straßenverlauf quer oder senkrecht zur Hauptwindrichtung; Relief eben oder flach; Probennahme auf beiden Straßenseiten; sechs Pflanzenmischproben
3. Flachrelief (windexponiert mit Vegetationsschutzstreifen)	wie 2. mit dichtem Vegetationsschutzstreifen auf beiden Straßenseiten
4. Flachrelief (nicht windexponiert mit Vegetationsschutzstreifen)	wie 1. mit dichtem Vegetationsschutzstreifen auf beiden Straßenseiten
5. Straßeneinschnitt (nicht windexponiert)	wie 1. mit mindestens 2 m tiefem Straßeneinschnitt
6. Straßendamm (nicht windexponiert)	wie 1. mit mindestens 2 m hohem Straßendamm
7. Hanglage (nicht windexponiert)	Straßenverlauf in Hauptwindrichtung; landwirtschaftliche Nutzfläche liegt auf Hangbereich; hangparalleler Straßenverlauf; Probennahme auf beiden Straßenseiten; sechs Pflanzenmischproben
8. Straßeneinschnitt (windexponiert)	wie 2. mit mindestens 2 m tiefem Straßeneinschnitt
9. Straßendamm (windexponiert)	wie 2., aber mit sieben Pflanzenmischproben und mindestens 2 m hohem Straßendamm

Aufbauend auf vorangegangenen Arbeiten (z. B. Chow und Earl 1970, Koch 1980) dienten, wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, die Windrichtung, das Straßen- und Nutzflächenrelief, der Straßenverlauf, die Bodenverhältnisse und evtl. vorhandene Straßenrandbepflanzungen zur Untergliederung der Typen.

Durch die naturräumliche Ausstattung des Bezirkes bedingt, wurden vorzugsweise Areale in Lößgebieten und Auen in die Untersuchung einbezogen. Der am häufigsten auftretende Typ (Flachrelief, nicht windexponiert) diente als „Normtyp“ zur statistischen Auswertung, d. h. zur Ermittlung der durchschnittlichen Bleibelastung in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke. Die Abweichungen des Belastungsmusters der restlichen Typen wurden auf diese Norm bezogen.

Die Pflanzenprobennahmen erfolgten im Juni und September 1981 je nach Standorttyp in unterschiedlicher Anzahl (vier bis acht) und in entsprechenden Entfernungen senkrecht zum Straßenverlauf auf einer oder beiden Seiten (vgl. Tabelle 3 und 4). Eine auf jedem Standort direkt vom Straßenrand genommene Probe beinhaltet die jeweils dort wachsenden Gräser und Kräuter. Die Herstellung der Mischproben wurde mit Plastgeräten durchgeführt, um unnötigen Metallkontakt zu vermeiden. Jede Pflanzenmischprobe beinhaltet 15 bis 20 straßenparallele Einzelproben. Außer bei Abwaschversuchen gingen die Staubauflagen mit in die Untersuchung ein.

Mittels Vorzerkleinerung, Trocknung bei 100 °C und Mahlung des Pflanzenmaterials wurde jede Mischprobe zu einem homogenen staubförmigen Substrat verarbeitet. Nach verschiedenen Testversuchen gelangte ein Naßaufschluß nach Scharf (1981, unveröffentlicht) auf Perchlor- und Salpetersäurebasis zur Anwendung.

Von jeder Pflanzenmischprobe wurden zwei Aufschlußlösungen angefertigt. Die quantitative Bleianalyse erfolgte bei der ersten Aufschlußreihe mit flammenloser Atomabsorptionsspektralphotometrie und bei der zweiten mit automatisierter Inversvoltametrie.

Insgesamt wurden 710 Bleibestimmungen durchgeführt. Die aus Kapazitäts- und Kontrollgründen bedingte Anwendung der zwei Analysenverfahren erbrachte vergleichbare Meßergebnisse.

Zum Flachrelieftyp (nicht windexponiert) wurden insgesamt 62 Standortaufnahmen durchgeführt. Diese Anzahl beinhaltet eine zeitliche Wiederholung für 11 Rübenblattstandorte.

Bei diesem Typ erfolgte die Mischprobennahme nur auf einer Seite des Straßenrandes, an der landwirtschaftlichen Nutzflächengrenze (Probenserie 1) sowie in 10 m (Probenserie 2) und 50 m Entfernung davon (Probenserie 3). Aufgrund der spezifischen Merkmale dieses Typs (vgl. Tabelle 3) konnte eine etwa gleichmäßige Ausprägung des Belastungsmusters auf beiden Straßenseiten vorausgesetzt werden.

4.1. Ergebnisse

Zwischen den Analysewerten der drei Serien des Flachrelieftyps und den entsprechenden Verkehrsstärken wurden statistisch gesicherte Zusammenhänge nachgewiesen. Die durchschnittliche Belastung der Pflanzen verringerte sich dabei von der Probenserie 1 bis zur Probenserie 3 auf etwa ein Drittel.

Zwischen der Verkehrsstärke und dem Bleigehalt von Gräsern direkt am Straßenrand war der Zusammenhang ebenfalls signifikant. Die durchschnittliche Kontamination der in diesem Bereich genommenen Mischproben erreichte das Drei- bis Vierfache des Niveaus der Probenserie 1.

Die allgemein hohe Belastung dieser Pflanzen sollte nach Möglichkeit zu ihrem Ausschluß von jeglicher Nutzung führen. Böschungen und Straßenränder stellen demzufolge nur unter bestimmten Bedingungen eine risikolos zu nutzende Futterreserve dar.

Die Belastungsvergleiche nach Kulturarten bestätigten die Abhängigkeit der Belastungsreihenfolge vom Oberflächen-Volumen-Verhältnis. Sehr stark kontaminiert waren Rübenblätter und der obere Teil von Maispflanzen. Getreideähren mit der Reihenfolge Roggen, Gerste, Weizen und Hafer sowie Schnittsalat lagen etwa auf dem durchschnittlichen Niveau der Werte. Als gering kontaminiert zeigten sich Proben von Luzerne, Bohnen und von Äpfeln. Bei einminütigem Waschen von Äpfeln und Apfelschalen mit warmen Wasser konnten nur 10 bzw. 12 % der Bleiverbindungen entfernt werden.

Tabelle 4. Vergleich der Bleigehalte (in Prozent) der restlichen Standorttypen mit denen des Flachrelieftyps (nicht windexponiert)

Standorttyp	Mischprobe in							Flachrelieftyp (nicht windexponiert)		
	(10)	(0)	(0)	(10)	(50)	(100)	(200)	(0)	(10)	(50)
	Meter Entfernung von der landw. Nutzflächengrenze									
Flachrelief (windexponiert)	42	53	105	60	37	32		100	71	38
Flachrelief (windexponiert mit Vegetationsschutz- streifen)	27	40	38	39	39	25		100	70	35
Flachrelief (nicht windexp. mit Vegetationsschutz- streifen)			58	41	25			100	68	47
Straßeneinschnitt (nicht windexponiert)			69	45	36			100	68	47
Straßendamm (nicht windexponiert)			106	92	73			100	70	42
Hanglage (nicht windexponiert)	68	—	111	76	69	—		100	69	44
Straßeneinschnitt (windexponiert)	41	49	37	25	21	—		100	72	35
Straßendamm (windexponiert)	43	36	88	38	69	24	40	100	72	35

Bei der Wiederholung der Probennahme von Rübenblättern nach drei Monaten (Mitte September) auf den gleichen Standorten, ergab sich im Vergleich zu den im Juni genommenen Proben eine Mehrbelastung von durchschnittlich 69 %. Die stärkste Belastungszunahme wurde hier allerdings in größerer Straßenentfernung registriert, d. h. im Bereich von 10 bis 50 m Entfernung von der Nutzflächengrenze. Die Mehrbelastung der Septemberproben betrug an der Nutzflächengrenze 35 %, in 10 m Entfernung 116 % und in 50 m Entfernung davon 57 %. Für das bereits im Juni extrem stark kontaminierte Gras vom Straßenrand ergab sich vergleichsweise eine durchschnittliche Mehrbelastung von 18 % im September.

Zu den restlichen acht Immissionstypen wurden insgesamt 15 Beispielsuntersuchungen durchgeführt. Die Belastungsmuster dieser Typen basieren auf dem direkten Vergleich mit dem Flachrelieftyp (nicht windexponiert) bei angenommener gleicher Verkehrsstärke. Die absolute Belastung des Flachrelieftyps wurde mit Hilfe von drei Regressionsgleichungen (Zusammenhänge zwischen dem Pflanzenbleigehalt der drei Probenserien und der Verkehrsstärke) ermittelt. In Tabelle 4 sind vergleichbare Relativwerte für alle Standorttypen zusammengestellt. Der 100 %-Wert bezieht sich dabei jeweils auf die durchschnittliche Belastung des Flachrelieftyps an der Nutzflächengrenze (Probenserie 1).

Obwohl diese Untersuchungen nur Beispielscharakter tragen, zeigen sie doch, daß die Vielfalt der natürlich-technogenen Einflußfaktoren beträchtliche Belastungsunterschiede auf straßennahen landwirtschaftlichen Nutzflächen hervorrufen. Dabei stellt die Typisierung in dieser Form nur einen ersten Ansatz zur Erfassung territorial differenzierter Belastungsmuster dar. Dieser Ansatz läßt sich u. a. durch die Berücksichtigung ergänzender Typen aus anderen Territorien und durch die weitere Untergliederung einzelner Typen mit Hilfe ihrer wichtigsten Parameter (Dammhöhe, Einschnittiefe, Hangneigung, Windrichtung oder Höhe, Dichte und Tiefe von Vegetationsschutzstreifen) erweitern.

Die aus der Typisierung ableitbaren Ergebnisse, die zumindest die wichtigsten Trends der jeweiligen Belastungsmuster repräsentieren, sind (vgl. Tabelle 4):

- Streckung der Immissionsareale bei den Standorttypen mit Windexposition in Hauptwindrichtung bei gleichzeitiger Verminderung der Belastung auf der dem Wind zugewandten Seite.
- Mehrbelastung der an die Straßen angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen auf Unterhangbereichen und hinter Straßendämmen.
- Verminderung der Bleiimmission auf Nutzflächen hinter Straßeneinschnitten und dichten Vegetationsschutzstreifen.

4.2. Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen lassen sich verschiedene Maßnahmen zur weiteren Nutzung der betroffenen Flächen ableiten. Auf den umfassenden Komplex belastungsmindernder Maßnahmen wird hier nur kurz eingegangen. So wird es immer notwendiger, den Pflanzenbau den jeweiligen Immissionsbedingungen durch spezielle Rotationen anzupassen. Hierbei empfiehlt sich vorrangig der Anbau von Kulturen mit kurzen Schnittintervallen wie Knaulgras. Weiterhin ist es günstig, belastete Pflanzen, die zur Nahrungsmittel-, Grünfutter- oder Silagegewinnung eingesetzt werden sollen, intensiv zu waschen oder sie mit unbelastetem Material zu verschneiden.

Die Ernte und Grünfuttergewinnung auf Immissionsarealen sollte nach Möglichkeit außerhalb der jahreszeitlich bedingten Spitzenbelastungszeiten erfolgen. Dagegen ist festzustellen, daß Flächen hinter Straßeneinschnitten und Vegetationsschutzstreifen mit niedrigen Schadstoffbelastungen ohne Anbaubeschränkungen genutzt werden können.

Durch die territorial gezielte und sachgerechte Anwendung derartiger Maßnahmen und die Senkung der Emissionen sind negative Folgeerscheinungen weitestgehend vermeidbar. Damit werden gleichzeitig günstigere Voraussetzungen für die langfristige Nutzung der natürlichen Ressourcen geschaffen.

Anliegen der Geographie ist es u. a., durch die differenzierte Erfassung von flächenhaft und zeitlich variabel auftretenden Belastungsprozessen, Voraussetzungen für ein gezieltes Vorgehen der wissenschaftlichen Nachbardisziplinen und der Praxis zur Durchsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu schaffen. Die geographische Betrachtungsweise schließt dabei die durch natürliche und technogene Einflußfaktoren gesetzmäßig bedingte Vielfalt derartiger Prozesse ein und gliedert das Territorium unter Beachtung der Variabilität der ermittelten Werte in räumliche Einheiten mit jeweils typischer Struktur.

Zukünftig gilt es, neben der Erweiterung und Verbesserung der hier angewendeten Methode zunehmend größere Räume in die Betrachtung einzubeziehen, um so landeskulturell-planerische Hilfsmittel für größere Territorien zu schaffen.

5. Zusammenfassung

Die DDR besitzt unter den Staaten des RGW das dichteste Straßenverkehrsnetz mit der größten Verkehrsdichte. Die regional stärksten Verkehrskonzentrationen ergeben sich auf den Trassen zwischen und in den Industrie- und Bevölkerungszentren. Für den Bezirk Halle wurde deshalb der Versuch der Quantifizierung der Bleiemission auf den wichtigsten Straßen mit Hilfe von Angaben zur Verkehrsstärke und den damit kombinierten Emissionsraten unternommen. Danach lassen sich rund 500 km des Bezirksstraßennetzes als Strecken mit mehr als 10 g Bleiemission pro Fahrbahnkilometer und Stunde, unterteilt in drei Intensitätsklassen, kennzeichnen.

Auf die Emissionsdarstellung aufbauende Immissionsuntersuchungen bestätigen, daß die Kontamination von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in erster Linie von der Verkehrsstärke abhängig ist und sich im Normalfall bis zu 50 m Straßentfernung nachweisen läßt. Relief-, Klima- und Vegetationsverhältnisse des Immissionsfeldes beeinflussen die Kontamination der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ebenfalls beträchtlich. Durch die Beachtung der naturräumlichen und technogenen Merkmale in Straßennähe wurde eine Ausgliederung von regelhaften Immissionsarealen mit typischen Belastungsmustern vorgenommen (Standorttypisierung) und durch Beispieluntersuchungen belegt. Dabei konnten u. a. Vergrößerungen der Immissionsareale durch Windausblasung bis in größere Straßentfernungen festgestellt werden. Eine deutlich niedrigere Immissionsbelastung zeigten Pflanzen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen bei Straßerverlauf im Reliefeinschnitt und hinter dichten baumhohen Vegetationsschutzstreifen.

Schrifttum

- Borbeli, F.: Toxikologische Aspekte der Automobilabgase. Mitt. Gebiete Lebensmittelunters. und Hyg., Bern **61** (1970) 292–302.
- Bovay, E.: Les depots de plomb sur la vegetation le long des auto-roues. Essai d'affouragement des vaches laitières avec du foin souillé par du plomb. Mitt. Gebiete Lebensmittelunters. und Hyg., Bern **61** (1970) 247–254.
- Chow, T. J., und J. L. Earl: Lead aerosols in the atmosphere: Increasing concentrations. Science **169** (1970) 577.
- Däfler, H.-G.: Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena (1976).
- Garber, K.: Schwermetalle als Luftverunreinigung. Blei – Zink – Kadmium – Beeinflussung der Vegetation. Staub – Reinhalt. Luft **34** (1974) 1–7.
- Grün, M.: Die Bleibelastung der Wiederkäuer in der DDR. Diss. B, KMU Leipzig, Sekt. Tierprod. und Vet.-Med. (1984).
- Grunert, F., und J. Klug: Schutzwirkung von Gehölzpflanzen gegen abdriftende Aerosole. Z. Hyg. **22** (1976) 721–723.
- Heinisch, E., V. Schenkling und H. Wersenger: Spezielle ökologisch-ökonomische Probleme in Randgebieten von Verkehrswegen. Sitzungsber. AdW DDR **4N** (1977) 5–27.
- Herms, U., und G. Brümmer: Einfluß der Bodenreaktion auf Löslichkeit und tolerierbare Gesamtgehalte an Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium und Blei in Böden und kompostierten Siedlungsabfällen. Landw. Forsch. **33** (1980) 408–423.
- Höll, W., und R. Hamp: Blei in der Biosphäre, einige Aspekte. Naturwiss. Rdsch. **27** (1974) 272–276.
- Horak, O., R. Rebber und J. Schmidt: Bleirückstände in Pflanzen und Böden entlang österreichischer Autostraßen. Bodenkultur **27** (1976) 376–384.
- Judel, G.-K., und W. Stellte: Gefäßversuche mit Gemüsepflanzen zur Frage der Bleiaufnahme aus dem Boden. Z. Pflanzenern. u. Bodenkunde **140** (1977) 421–429.
- Keller, Th.: Der jetzige Bleigehalt der Vegetation in der Nähe Schweizerischer Autostraßen. Z. Präventivmed. **15** (1970) 235–243.

- Keller, Th.: Blei als Indikator der luftfilternden Wirkung von Hecken für verkehrsbedingte staubförmige Luftverunreinigungen, insbesondere Bleiverbindungen. *Schweiz. Z. Forstw.* **125** (1974 b) 719–735.
- Kloke, A.: Einflüsse von Immissionen auf den Boden. *Mitt. biol. Bundesanst. f. Land- und Forstw.* **132** (1969) 43–49.
- Kloke, A., und H.-O. Leh: Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. *Air pollution, Proc. of the first Europ. congr. on the influence of air pollution on plants and animals – Wageningen, April 22 to 27. 1968* (1969) 250–268.
- Kloke, A., K. Riebartsch und H.-O. Leh: Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugen. *Landw. Forsch.* **20** (1966) 20. Sh. 119–123.
- Knape, W.: Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verminderung von Immissionsschäden. *Landw. Forsch.* **26** (1971 1. Sh. 41–54.
- Koch, R.: Landeskultur der Autobahn. Diss. A, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Sekt. Geographie (1980).
- Leh, H.-O.: Verunreinigung von Pflanzen durch Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. – *Gesunde Pflanzen* **18** (1966) 21–24.
- Murozumi, M., T. J. Chow und C. Patterson: Chemical concentrations of polluted lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata. *Geochim. Cosmochim. Acta, London* **33** (1969) 1247–1294.
- Schenkling, V.: Informationen aus Wissenschaft und Technik. *Nachr. Mensch-Umwelt* **3** (1975) 1.
- Siddiqui, I., und K.-H. Wagner: Die Bleioresorption der Pflanze in Abhängigkeit von kontinuierlichem Angebot. *Chemosphere* **4** (1973) 161–162.
- Sommer, G., A. Rosopulo und J. Klee: Die Bleikontamination von Pflanzen und Böden durch Kraftfahrzeugabgase. *Z. Pflanzenern. und Bodenkunde* **130** (1971) 193–203.
- Staiger, K.: Blei im Boden. Mengen- und Spurenelemente, Arbeitstagung der K.-M.-Univ. Leipzig **1** (1984) 175–192.
- Zuber, R., E. Bovay und W. Tschannen: Das Blei aus Motorfahrzeugen. Seine Akkumulation auf Pflanzen und die damit verbundenen Gefahren. *Schweiz. Landw. Mh.* **49** (1971) 249–261.
- . . . Vorschlag einer Verordnung des Rates der europäischen Gemeinschaft über die Festlegung von Höchstgehalten an unerwünschten Stoffen und Erzeugnissen in Futtermitteln, Agra-Europe, Presse- und Informationsdienst GmbH, H. 9 vom 2. 3. 1971.
- . . . Straßenverkehrszählung 1975, Ministerium für Verkehrswesen Hauptverwaltung des Straßenwesens – Ergebnisse, Autobahnen, Stand August 1976, Berlin (1976).

Dr. Dietmar Sandner
 Sektion Pflanzenproduktion
 Wissenschaftsbereich Agrarökonomie,
 Agrargeographie und landw. Regionalplanung
 DDR - 4020 Halle (Saale)
 Adam-Kuckhoff-Straße 15