

Hallesches Jahrb. Geowiss.	R. A	Bd. 21	Halle (Saale) 1999	S. 97 - 113
----------------------------	------	--------	--------------------	-------------

Boden-Umweltstandards für Schwermetalle und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) am Beispiel von Großsiedlungen in Halle und Leipzig

Soil-Environmental-Standards for Heavy Metals and PAH exemplary in Modern Estates of Halle and Leipzig

Mit 9 Tabellen und 3 Abbildungen

Von MARTIN SAUERWEIN

Zusammenfassung: Urbane Böden unterliegen infolge punkthafter und diffuser städtischer Immissionen Belastungen, die auf längere Dauer zur Schädigung des Ökosystems an einzelnen Standorten führen und unter Umständen sogar zur Gefahr für die städtische Bevölkerung werden können. Basierend auf eigenen Untersuchungen an 32 Standorten in den Großsiedlungen Halle-Neustadt, Halle-Silberhöhe sowie Leipzig-Grünau und den Ergebnissen des Schwermetalleintrags in ein Jahr lang exponierte Kontrollböden, werden für diese drei Untersuchungsgebiete Umweltstandards für Schwermetalle und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) berechnet und Parameter eines standardisierten Untersuchungsprogrammes abgeleitet.

Summary: As a result of selective and diffuse immissions urban soils can be polluted until then the ecosystem could be damaged in separate locations or it could be a danger for the urban inhabitants. Based on own investigations of 32 typical locations in the modern estates Halle-Neustadt, Halle-Silberhöhe and Leipzig-Grünau and the results of the input of heavy metals in through one year exposed soils environmental-standards for heavy metals and PAH are calculated and parameters for a standardised investigation-program are deduced.

1 Problemstellung

Sowohl organische Schadstoffe (z.B. Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe - PAK) wie auch anorganische Schadstoffe (z.B. Schwermetalle) werden über die verschiedensten Transportpfade in Schadstoffsenken akkumuliert, wobei auch Böden als solche Senken fungieren. Dies kann besonders an Standorten, die dauerhaft Immissionen ausgesetzt sind, zu irreversiblen Schäden des Ökosystems führen. Solche Standorte sind u.a. oftmals auch urbane Freiflächen, die aufgrund der diffusen und langjährigen städtischen Belastung z.T. hohe Schadstoffgehalte aufweisen (SCHULTE 1996). Um für innerstädtische Böden Qualitätsziele ableiten zu können, muß ein Bewertungsmaßstab erarbeitet werden, der zum einen den Status quo als Grundlage hat, zum zweiten die perspektivische Immissionsentwicklung berücksichtigt und schließlich den besonderen Ansprüchen an die städtischen Freiflächenböden Rechnung trägt. Exemplarisch wurde dies für repräsentative Standorte in den o.g. Großsiedlungen durchgeführt (SAUERWEIN 1998). Dieser Stadtstrukturtyp wurde ausgewählt, da dort die Bodenentstehung i.d.R. nur einmal durch den Menschen beeinflusst wurde. Wesentlich schwieriger ist die Beschreibung der Bodenentwicklung in älteren Siedlungsgebieten (z.B. Innenstädten).

2 Untersuchungsgebiete und Untersuchungsmethoden

Um nicht nur regional sehr begrenzt gültige Aussagen über städtische Freiflächenböden abzuleiten, sondern prinzipielle ökosystemare Zusammenhänge aufzuzeigen bzw. ein möglichst allgemeingültiges Modell aufzustellen, wurde nicht ein Untersuchungsgebiet gewählt, sondern drei, welche sich z.T. wesentlich unterscheiden. In den rd. 35 km. auseinander liegenden Großstädten Halle und Leipzig, die in der geologischen und pedogenen Ausstattung differieren, wurden in Halle nochmals zwei Untersuchungsgebiete unterschieden (Neustadt: Profile/Standorte Nr. 1 - 14 und Silberhöhe: Profile/Standorte Nr. 21 - 27), in Leipzig wurde Grünau (Profile/Standorte Nr. 31 - 42) gewählt.

2.1 Halle

Die Stadt Halle mit rd. 276.000 Einwohner (STADT HALLE 1998) liegt in der weiträumigen Kulturlandschaft des mittleren Saaletales bzw. am nordwestlichen Rand der Leipziger Tieflandsbucht. Damit gehört sie zu den Naturraumtypen der Lößgebiete im Lee der Mittelgebirge. Wirtschaftsgeographisch liegt Halle als Industrie-, Verkehrs-, Handels- und Kulturzentrum im Großraum Leipzig - Halle - Dessau, einer der größten Verdichtungsregionen der neuen Bundesländer. Dieser Raum zeichnet sich wie viele andere ostdeutsche Ballungsgebiete dadurch aus, daß auf relativ engem Raum eine große Zahl von Standorten der chemischen und metallverarbeitenden Industrie und des Bauwesens bis in die jüngste Vergangenheit angesiedelt waren.

Aus geologischer Sicht sind die Ablagerungen von Braunkohlen und Salzlagerstätten als Energie- und Rohstoffressourcen das Hauptmerkmal für die Entwicklung dieses industriellen Ballungsgebietes. Der Untergrund des halleschen Stadtgebietes baut sich im Norden und Osten aus permokarbonem Gestein des Halleschen Porphyrykomplexes auf, im Westen und Süden sind es anteilig die Tafelschollensedimentgesteine der Nietlebener Mulde und Merseburger Bundsandsteinplatte (KRUMBIEGEL & SCHWAB 1974).

Bezüglich der Substrat-Bodengenese des Halleschen Raumes bildet die Saalelinie eine Grenze. Westlich der Saale dominieren Schwarzerden mit z.T. Verbraunungstendenzen (Krumen- und Tiefendegradierung). Östlich der Saale sind bevorzugt Braunschwarzerden und Griserden zu finden. Dabei nimmt die Substratmächtigkeit der äolischen Sedimente nach Osten hin ab und erreicht 80 - 100 cm. Diese werden unterlagert von Grundmoränen und/oder glazifluvialen Sanden der Saale-Eiszeit. In der Saale selbst sind Auenböden (überwiegend Lehm-Schluff im Oberboden) zu finden (ALTERMANN 1972, BILLWITZ & BREUSTE 1980).

Klimatisch gehört der Untersuchungsraum zu einer Übergangsregion vom niederschlagsarmen Binnenklima im Mittelgebirgslee (Station Aseleben: 429 mm) zum niederschlagsreichen Binnenklima der Leipziger Tieflandsbucht mit einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagssumme von ca. 500 mm in Halle sowie mit einer Jahresmitteltemperatur von 9 °C (1950 - 1980) (METEOROLOGISCHER DIENST DER DDR 1987). Ein besonderes Charakteristikum des Klimas in Halle ist die anthropogen hervorgerufene thermische Belastung und die hohe Luftverunreinigung, welche trotz starken Rückgangs seit 1989 (60 - 80 %) bis Anfang der 90er Jahre immer noch über dem bundesdeutschen Durchschnitt lag (STADT HALLE 1993), heute jedoch der Qualität vergleichbarer bundesdeutscher Städte entspricht (MRLU 1996).

Bisherige Untersuchungen zur pedologischen und zur Schwermetallcharakterisierung der Oberböden in Halle beschränkten sich auf einen gesamtstädtischen Überblick (BILLWITZ & BREUSTE 1980, HÖKE & WALLOSSEK 1995) bzw. auf das Umland von Halle (ZIERDT 1991). HÖKE (1994) hat festgestellt, daß für die Oberböden die Schwermetalle zwar eine innerstädtische Differenzierung der Belastung ermöglichen (auf der Ebene der Stadtstrukturtypen), aber eine kleinräumigere Charakterisierung ist damit nicht möglich. Zur Zeit existiert eine amtliche Bodenkarte für den Stadtbereich von Halle im Maßstab 1 : 50.000 (GLSA 1997), in der jedoch die dicht besiedelten Areale bzw. versiegelten Flächen nur unbefriedigend gekennzeichnet sind. Basierend auf prä-urbanen Bodenkartierungen, wie etwa der Reichsbodenschätzung, auf Bodenformen bzw. der Geologie sind (in Halle und Leipzig) Bodentypen ausgegliedert worden, die im Rahmen der eigenen Untersuchungen an fast keinem Profil/Standort "angetroffen" wurden. Die anthropogenen Eingriffe haben in den Untersuchungsgebieten dazu geführt, daß die prä-urbanen Standorteigenschaften (zumindest im ersten Profilmeter) i.d.R. nicht mehr nachzuweisen sind. In Halle wird vom Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt im Rahmen der Siedlungsbodenkartierung eine Karte 1 : 25.000 bzw. 1 : 10.000 (Arbeitskarte) erarbeitet, die allerdings noch nicht vorliegt. Die in Leipzig erfolgte Bodentypen-Kartierung (UFZ 1995) im Maßstab 1 : 25.000

gibt auch nur einen Überblick, wobei besonders die Differenzierungen des Natürlichkeitsgrades dem Autor subjektiv erscheinen.

Besonders geeignete Untersuchungsgebiete sind in Halle die Großsiedlungen **Halle-Neustadt**, für das bereits Untersuchungen vorliegen (FRÜHAUF 1975, BREUSTE 1979), sowie **Halle-Silberhöhe**. Zum einen sind beide Gebiete durch unterschiedliche (prä-urbane) natürliche Bedingungen charakterisiert, zum anderen haben sie differenzierte Lagebedingungen im Emissions-/Immissionfeld des Ballungsraumes. Halle-Neustadt ist durch einen allgemein hohen Freiflächenanteil geprägt, der allerdings zwischen den ältesten und jüngsten Teilen graduelle Differenzierungen aufweist (NEUMANN 1997). In Halle-Silberhöhe ist der Freiflächenanteil zwar geringer als in Halle-Neustadt, jedoch immer noch höher als in den Altstadtbereichen von Halle.

Halle-Neustadt

Die zunächst "Halle-West" benannte Großsiedlung war nach Eisenhüttenstadt, Hoyerswerda und Schwedt/Oder der vierte und mit über 20.000 geplanten Wohneinheiten bis dahin größte neuangelegte Wohnstandort in der DDR (STADT HALLE 1995). Diese "neuen Städte" sollten jeweils konzentriert zusammengefaßte Wohnungen für die Beschäftigten der nahegelegenen Industriegroßbetriebe bieten: Halle-West war als "Chemiearbeiterstadt" für die Buna- und Leunawerke geplant. Bis 1967 wurde die neue Siedlung von Halle aus verwaltet, dann in "Halle-Neustadt" umbenannt, zur eigenen Stadt erklärt und 1990 wieder in die Stadt Halle einbezogen. 1964 wurde der Grundstein für das damals ehrgeizigste Neubauprojekt der DDR gelegt. Halle-Neustadt, "eine Stadt, in der zu leben für jedermann Glückseligkeit heißt", lautete die Parole. Heute, nach 32 Jahren und der politischen Wende, wohnen in "Halle-Neu" 87.000 von ehemals fast 100.000 Menschen in rd. 39.900 Plattenwohnungen (115 EW/ha). Vom hochgesteckten Ziel des ewigen Glücks ist zwar nicht viel übrig geblieben, aber dem Klischee vom seelenlosen Betonsilo, der bestenfalls zum Abriß taugt, wird die Satellitenstadt auch nicht gerecht. Immerhin 40 % der Gesamtfläche des Stadtteils sind Grünanlagen, das sind mehr als im restlichen Stadtgebiet (STADT HALLE 1995 und 1998; vgl. auch AMMON 1982, FROTSCHER 1990). Die ehemals natürlichen Standortbedingungen in Halle-Neustadt bieten durch ihr breites geologisch-pedologisches Spektrum (von Muschelkalk über Buntsandstein bis zu Auelehm in der Saaleaue) überaus günstige Untersuchungsmöglichkeiten. Die "ökologische Brisanz" der Fragestellung an diesem Standort wird zudem durch das Abpumpen des Grundwassers im Auenbereich des heutigen Stadtgebietes und die dadurch erfolgte (extreme) Veränderung der pedoökologisch-edaphischen Verhältnisse noch gesteigert.

Halle-Silberhöhe

"Silberhöhe" - das klingt nach Märchen, nach Idylle, nach Schätzen. Zwar soll der heutige Stadtteil von Halle seinen Namen tatsächlich einem hier vergrabenen Silberschatz verdanken, doch auf den Schatz wurden "Platten" gestellt. In der Plattenbausiedlung wohnten 1997 rd. 33.700 Menschen, d.h. jeder achte Hallenser. Im August 1979 zogen die ersten Mieter in die Silberhöhe - in Halle liebevoll auch "Silberhöhle" genannt. Heute sieht sich die Stadt Halle mit einer Fülle von Problemen in diesem Stadtteil konfrontiert. Neben Mängeln in der Bausubstanz und der sehr hohen Einwohnerdichte (rd. 170 EW/ha) sind dies insbesondere fehlende Grün- und PKW-Stellflächen (Grünflächenanteil 19 %) (STADT HALLE 1995 und 1998). Obwohl schon einiges getan wurde, fehlen immer noch über 6.000 Parkplätze. Viele Flächen präsentieren sich noch immer als Brache, auch wenn die Stadt schon erheblich in den "zentralen Grünzug" investiert hat. So gibt es gerade in diesem Stadtteil, der relativ jung und gleichzeitig relativ groß ist, allenthalben Handlungsbedarf, gerade was die Gestaltung von Freiflächen - die sich mehr als Brach- denn als Grünflächen darstellen - angeht.

2.2 Leipzig

Leipzig liegt in der nach ihr benannten Bucht, die Teil des norddeutschen Tieflandes ist. Die mächtigen glazialen Sedimente der Elster- bzw. Saale-Eiszeit werden hier von einer dünnen Lößdecke überlagert, die für die Ausbildung der Böden die Grundlage bildet (STOYE 1994). Die Flußsysteme der Weißen Elster und der Parthe wurden während der Saalevereisung angelegt und sie durchfließen heute gemeinsam mit Pleiße und Luppe das Stadtgebiet und haben eine vielgestaltige Auenlandschaft geschaffen. Das Stadtterritorium ist orographisch eine Ebene, die im Mittelwert ca. 125 m über NN liegt und Abweichungen von +/-10 m aufweist. Klimatisch liegt Leipzig im Übergangsbereich vom ozeanischen zum kontinentalen Klima (STADT LEIPZIG 1995). Die ursprüngliche, von den Auelandschaften geprägte Region wurde seit dem 19. Jahrhundert zunehmend von Landwirtschaft und Industrie bestimmt. Als Folge

davon existieren nur noch geringe Wald- und Wasserflächen. Innerhalb der Stadt sind die Auegebiete zwar überformt und eingeengt, aber noch vorhanden. Auf den Landschaftsraum im Umland übergreifend, sind im Nordwesten die Elster- und die Luppeaue und im Nordosten die Partheaue erhalten, während die Elster-Pleiß-Aue im Süden durch den Braunkohletagebaubetrieb bis an die Stadtgrenze völlig zerstört ist. In der Bergbaufolgelandschaft entstanden Naherholungsgebiete außerhalb und innerhalb der Stadt (z.B. am Rande Grünaus der Kulkwitzer See), die jedoch den Erholungsbedarf, insbesondere die Wochenenderholung, nicht abdecken können. Umweltbelastend waren bzw. sind die außerhalb der Stadt liegenden Chemiebetriebe südlich (Böhlen, Espenhain) und westlich (Leuna, Buna) Leipzigs mit ihren Schadstoffemissionsquellen für Luft und Wasser, die Kohleheizungen in Industrie, Gewerbe und den Wohngebieten sowie die Lärm- und Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs.

Die naturräumliche Situation, die Luft-, Gewässer- und Lärmbelastungen und deren klimatische Auswirkungen charakterisieren eine schlechte Umweltqualität, die seit Jahrzehnten eine Abwanderung vor allem jüngerer Bevölkerungsgruppen zur Folge hatte. Erst durch die Stilllegungen und Einschränkungen in der Chemieindustrie und im Kohleabbau sind grundlegende Verbesserungen in Gang gekommen. Das gilt gleichermaßen für die Ablösung der Kohleheizungen durch Fernwärme und Gas. Problematisch sind nach wie vor die Luft- und Lärmbelastungen durch den Verkehr.

Leipzig-Grünau

Leipzig-Grünau gehört zur Spitzengruppe der für die DDR typischen Großsiedlungen mit etwa 35.000 Wohnungseinheiten und einer Bewohnerzahl von über 80.000 (STADT LEIPZIG 1995). In den siebziger und achtziger Jahren am westlichen Stadtrand in verhältnismäßig günstiger Lage zu Naherholungseinrichtungen gebaut, ist die Siedlung für fast 20 % der Leipziger der Wohnstandort. Die vorhandene Bausubstanz (Kleinsiedlung Grünau, Industriegebiet Plagwitz mit Meyerschen Häusern, Dorfkern Lausen und Miltitz) und Verkehrswege (Hafen, Bundesstraße, Eisenbahn) sowie die naheliegenden Erholungs- und Naturschutzgebiete (Kulkwitzer See, Schönauer Lachen) begrenzten die für den Wohnungsbau verfügbare Fläche. Das Neubaugebiet besteht aus einzelnen Wohnkomplexen (WK), die durch Baualter und Planungsprämissen erhebliche Unterschiede in der Grundrißstruktur, der Gebäudehöhe und der Dichte der Bebauung aufweisen. Während in den ersten Komplexen (Ostrand) hauptsächlich fünfgeschossig mit relativ großen Gebäudeabständen gebaut wurde (WK 1 - 3: 11.183 EW/km²; STADT LEIPZIG 1995), ging man später zu einer stark verdichteten sechsgeschossigen Bauweise über (WK 8: 19.162 EW/km²). Eingestreut sind an den Hauptfußgängerachsen 11- und 16geschossige Wohnhochhäuser sowie vielgeschossige soziale Einrichtungen (Altenheime, Studentenwohnheime). Schulen und Kindergärten wurden wie in Halle-Neustadt auch dezentral, teilweise innerhalb der Wohnhöfe, angelegt. Weitere Infrastruktureinrichtungen konzentrieren sich in den zentralen Bereichen der einzelnen Wohnkomplexe und umfassen sowohl Geschäfte und Dienstleistungsunternehmen als auch Ärztehäuser. Da diese Gebäude oft mit einer mehrjährigen Verspätung fertiggestellt wurden, fehlen sie teilweise in den zuletzt begonnenen Wohngebieten (Wohnkomplex 7 und 8, insbesondere Gaststätten). Das Wohngebietszentrum (WK 5.2) wird erst jetzt mit einem gegenüber der alten Planung nur geringen Angebot an kulturellen Einrichtungen errichtet. Für umfangreichere Freizeitaktivitäten hat man zusätzlich an die Nutzung vorhandener Strukturen gedacht. Während das als Badesees genutzte Braunkohlerestloch Kulkwitzer See am Westrand der Siedlung besonders im Sommer stark ausgelastet ist, werden die historischen Parkanlagen Schönauer Park und Robert-Koch-Park nur gering frequentiert. Bereits bei der Planung von Grünau wurde dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) eindeutig der Vorrang eingeräumt. Nicht eine Magistrale für Kraftfahrzeuge wie in Halle-Neustadt, sondern eine S-Bahnlinie bildet das Rückgrat. Sowohl diese Trasse als auch eine nördlich und eine südlich parallel in West-Ost-Richtung verlaufende Straßenbahnlinie sollten den Hauptverkehr der Großsiedlung bewältigen. Das ÖPNV-Netz ist - anders als in Halle-Neustadt - durch kurze Entfernungen zu den Haltestellen auf ausschließlich Fußgängern vorbehaltenen Nord-Süd verlaufenden Verbindungsachsen der Wohngebiete gut entwickelt. Ebenfalls wurde an die Anlage verschiedener noch ergänzbarer Radwege sowohl in Nord-Süd-Richtung als auch von Osten nach Westen gedacht. Im Zuge der Sanierung des östlich angrenzende Industriegebiet Plagwitz durchziehenden Karl-Heine-Kanals wird an der Ausgestaltung einer Radwegachse zwischen Großsiedlung und Stadtzentrum gearbeitet.

Der private Kraftfahrzeugverkehr spielte in den Planungen für die Großsiedlung nur eine untergeordnete Rolle. Dies äußerte sich auch bei der Bauausführung. Während das Liniennetz des ÖPNV entsprechend der Planung verwirklicht wurde, sind Umgehungsstraßen im Norden und Süden zur Entlastung des östlichen Teils des Wohngebietes vom Zielverkehr nach Grünau und zur Herausnahme des Durchgangsverkehrs der Bundesstraße Leipzig - Weißenfels nicht gebaut worden. Bis heute wurde die

immer noch den gesamten überregionalen Verkehr tragende Lützener Straße in keiner Weise den tatsächlichen Verkehrsanforderungen baulich angepaßt.

Bereits mit dem Namen "Grünau" verbindet sich die Vorstellung, daß man hier weiträumige Grünareale vorfindet. Obwohl als Folge relativ dichter Bebauung an verschiedenen Standorten die Voraussetzungen für großzügige Grünanlagen fehlen, waren die Planer bemüht, dieser Zielstellung zu folgen. Leider sind heute, bedingt durch die überall immer krasser werdenden Verkehrsprobleme, Bestrebungen vorhanden, verschiedene Grünflächen zu Zonen des ruhenden Verkehrs umzufunktionieren. Vergleicht man Anlage und Ausstattung der Grünflächen der einzelnen Wohnkomplexe, so ergeben sich schon allein aus der zeitlichen Folge ihrer Fertigstellung, die sich über fast 15 Jahre hinzog, teilweise gravierende Unterschiede. Die für dieses Neubaugebiet großzügigste Grünflächenausstattung haben, insbesondere bezüglich der Anpflanzung von Gehölzen, die Wohnkomplexe 1, 2, 3 und 4. Hier sind im Laufe der Jahre in vielen Innenhöfen Stadtbiotope entstanden, die sich zu wertvollen ökologischen Nischen für Tier- und Pflanzenarten entwickelt haben (KEIDEL, WINKLER & BREUSTE 1996).

3 Boden-Umweltstandards

Umweltwissenschaften dürfen nicht bei der Erfassung von Status-quo-Zuständen stehenbleiben, sondern müssen auch **Bewertungssysteme**, **Bewertungsverfahren** und **Bewertungsnormen** wissenschaftlich begründet erstellen. Seit mehreren Jahren wird deshalb auch mit dem Begriff der **Umweltqualität** (KIEMSTEDT 1989, FÜRST 1990, FÜRST & KIEMSTEDT 1990, GUSTEDT 1990, KNAUER & SURBURG 1990, PIETSCH 1990, KNAUER 1995) gearbeitet bzw. es werden schon länger **Grenzwertdiskussionen** geführt. Problematisch erscheint dem Autor dabei die Trennung von Naturwissenschaften und Gesellschaft bei der konkreten Definition von Standards, wie es auch bei KÜHLING (1997) nachzulesen ist.

Bodenqualitäten bzw. **Bodenqualitätsziele** werden als Bausteine eines hierarchisch gegliederten Systems von Entwicklungszielen verstanden, in dem allgemein gehaltene Vorgaben von Ebene zu Ebene zunehmend konkretisiert werden (in Anlehnung an KNAUER 1995; vgl. auch BACHMANN 1996). Die Bodenqualitätsziele charakterisieren beispielhaft die Ansprüche an die "urbane Pedosphäre". **Umweltstandards für Böden** sind die unterste Stufe des Zielsystems und müssen an definierten Werten festgemacht werden (Tab. 1). Bislang existieren zwar Untersuchungen zur Qualität urbaner Böden (KAHLE & COBURGER 1995), auch Ansätze zur Bewertung (nicht nur für den urbanen Raum) von Böden (RUCK 1989, VOLMER 1990, KLOKE & LÜHR 1991, DE HAAN et al. 1993, SUTTNER et al. 1993, HEIN & DELSCHEN 1994, BERGER 1995, HARTMANN & SCHMIDT 1995, HEINIG 1995, HERTLING & RASCHKE 1995, SCHRÖDER 1995, BLUME & SCHLEUSS 1997, BROLL 1997, KIENE & MIEHLICH 1997) und Bodenschutzkonzepte (UVF 1991, BONGARD & SCHNAUDT 1993, KNEIB 1993, MOSIMANN 1993, REINIRKENS & VARTMANN 1995, SMETTAN & LITZ 1997) oder Bodenkonzeptkarten (GERTH 1993, GRENZIUS 1993, COBURGER & KRETSCHMER 1997), jedoch werden daraus keine Standards abgeleitet.

Tab. 1: Stellung von Bodenqualitäten im hierarchischen Zielsystem (nach KNAUER 1995, verändert)

	Definition	Beispiele
Umweltziel	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine Zielvorstellungen der Umweltpolitik 	<ul style="list-style-type: none"> Umweltgesetze, z.B. §§ 1 und 2 des Bundesnaturschutzgesetzes
Regionale Leitbilder	<ul style="list-style-type: none"> Regionalisierte Leitbilder (übergeordnete Zielvorstellungen, bezogen auf einen Verwaltungs- oder Naturraum) 	<ul style="list-style-type: none"> "Ökologischer Stadtumbau Berlin" "Verkehrspolitisches Leitbild" der Stadt Halle (STADT HALLE 1997a)
Umweltqualitätsziele	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklungsvorhaben bzgl. sachlich, räumlich und zeitlich definierter Qualitäten, Potentiale und Funktionen einzelner Bereiche für ausgewählte Stadtstrukturtypen 	<ul style="list-style-type: none"> Wiederansiedlung des Lachses im Rhein bis zum Jahr 2000 Deutliche Verbesserung der städtischen Emissions-/Immissionssituation
Umweltqualitätsstandards, Beispiel Boden	<ul style="list-style-type: none"> Konkrete, auf Meßvorschriften beruhende Angaben bzgl. Umweltqualität 	<ul style="list-style-type: none"> Klärschlammverordnung: gesetzlich verbindliche Grenzwerte (KVO 1992) Handlungsempfehlungen für Böden in Sachsen-Anhalt (MUN 1992)

Leitbilder sind übergeordnete, sehr allgemein formulierte Zielvorstellungen der Umweltpolitik (FÜRST et al. 1992), die i.d.R. einen regionalen Bezug haben, z.B. Kommunen. FÜRST et al. (1992, S. 10) definieren allgemein: "**Umweltqualitätsziele** (UQZ) geben bestimmte sachlich, räumlich und ggf. zeitlich definierte Qualitäten von Ressourcen, Potentialen oder Funktionen an, die in konkreten Situationen erhalten oder entwickelt werden sollen". UQZ sind nicht einfach gegeben, sondern entwickeln sich aus einem "Diskurs der Wissenschaft über Funktionszusammenhänge in Ökosystemen, aus der systematischen Information über die Zustände von Ökosystemen und ihrer Entwicklung sowie aus der Verarbeitung dieser Befunde durch die politischen Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit" (ebd., S. 11).

Für **Halle** wurde bislang explizit als Leitbild lediglich ein Verkehrspolitisches Leitbild (STADT HALLE 1997a) definiert. Darüber hinaus existieren für die Umweltmedien Luft und Wasser Leitbildvorstellungen z.B. im Flächennutzungsplan (STADT HALLE 1995), im Landschaftsrahmenplan (STADT HALLE 1998), im Rahmen der Abwasserzielplanung, des CO₂-Minderungskonzeptes oder der Mitgliedschaft im Klimabündnis sowie der Abfallwirtschaftsplanung (STADT HALLE 1997b).

In **Leipzig** wurden durch den Stadtrat im Juni 1996 Umweltqualitätsziele und -standards beschlossen (STADT LEIPZIG 1996), wobei explizit die Schwerpunkte Gesundheitsvorsorge und Wohlbefinden, Naturschutz, Ressourcenschutz, Schadstoffexport und indirekte Belastungen durch die Stadt sowie in der Öffentlichkeitsarbeit aufgeführt sind. Während für den Bereich des Bodenschutzes wenig konkrete Maßstäbe angegeben werden (STADT LEIPZIG 1996, S. 24), wird der Freiflächenschutz hingegen sogar mit quantitativen Standards manifestiert (STADT LEIPZIG 1996, S. 26). In beiden Kommunen gibt es jedoch keine wissenschaftlichen Bewertungsmaßstäbe für Böden der Freiflächen.

Auch bei der Begriffsbestimmung von **Umweltqualitätsstandards** hat man sich inzwischen auf Definitionen verständigt, die sich an die von FÜRST et al. (1992, S. 11) weitgehend anlehnen: "Standards sind damit konkrete Bewertungsmaßstäbe zur Bestimmung von Schutzwürdigkeit, Belastung, angestrebter Qualität, indem sie für einen bestimmten Parameter bzw. Indikator Ausprägung, Meßverfahren und Rahmenbedingungen festlegen." Weitere Differenzierungen finden sich z.B. bei UBA (1993 und 1994) sowie STADT WIESBADEN (1996).

EITNER (1996) hat neben der Aufstellung eines kommunalen Umweltqualitätszielkonzeptes sehr ausführlich eine Literaturzusammenstellung über allgemeine und speziell für den Raum Halle relevante Quellen zur Systematisierung von Umweltqualitätszielen aufgeführt und ausgewertet. Für das Schutzgut Boden wird im städtisch-administrativen Bereich von Halle betont: "Ziele, die auf die ökologischen Funktionen des Bodens und die natürlichen Bodeneigenschaften abgestellt sind, werden fast völlig vermißt. Bisher fehlen konkrete Handlungsanweisungen der Stadt bzgl. der Entwicklung des Schutzgutes Boden" (EITNER 1996, S.64).

4 Ableitung von Boden-Umweltstandards für die Untersuchungsgebiete

Wie in Abschnitt 3.1 erläutert, werden Umweltstandards als "konkrete Bewertungsmaßstäbe zur Bestimmung von Schutzwürdigkeit, Belastung, angestrebter Qualität, die für einen bestimmten Parameter bzw. Indikator Ausprägung, Meßverfahren und Rahmenbedingungen festlegen" (FÜRST et al. 1992, S. 11) definiert.

Schutzwürdigkeit sollte darin Eingang finden, daß **schutzgutbezogen** bewertet wird. Die Bestimmung der (aktuellen) **Belastung** erfolgt durch Bezug auf existierende **Grenz-/Richtwerte** und **Hintergrundwerte**. Die angestrebte **Qualität** ist letztlich eine umweltkommunalpolitische Entscheidung, wobei das Prinzip der **Nachhaltigkeit** gelten muß. Ein Ansatz ist, keine wesentliche Bodenverschlechterung für die Fälle zuzulassen, daß kein Sanierungsbedarf besteht. Aufgrund der bei SAUERWEIN (1998) aufgezeigten Korrelationen ist es nicht notwendig, alle nur denkbaren **Parameter** zu messen, sondern es genügt, bestimmte **Indikatoren** zu erfassen. Die analytischen **Meßverfahren** und **Rahmenbedingungen** sind bis auf die Bestimmung der mobilen Schwermetallgehalte mittlerweile standardisiert.

4.1 Hintergrundwerte

Für nichtstädtische Böden können regional differenziert **geogene Hintergrundwerte** (im Sinne von FRÜHAUF 1992; vgl. auch HINDEL & FLEIGE 1989) abgeleitet werden (HINDEL & FLEIGE 1991, JONECK & PRINZ 1994, FELDHAUS et al. 1996, ALTERMANN et al. 1997). Im Stadtbereich ist dies nicht möglich. Eine

Möglichkeit, für den urbanen Raum solche Gehalte zu definieren, die den "Normalbereich" einer Kommune charakterisieren, besteht darin, auf die Berechnung städtischer Hintergrundwerte zurückzugreifen. Für Leipzig wurde dies z.B. von HAASE (1995) durchgeführt. Für die untersuchten Schwermetalle und die PAK lassen sich methodisch differenziert verschiedene städtische Hintergrundwerte berechnen (Tab. 2).

Tab. 2: Ableitung von städtischen Hintergrundwerten

Hintergrundwert	Grundlage	Datenquelle	Gebiet
<ul style="list-style-type: none"> Quasi-geogener Background 	<ul style="list-style-type: none"> autochthone, anthropogen unbelastete Ausgangssubstrate der Bodenbildung 	<ul style="list-style-type: none"> FELDDHAUS et al. (1996) HINDEL & FLEIGE (1991) HINDEL et al. (1998) 	<ul style="list-style-type: none"> Sachsen-Anhalt Deutschland Deutschland
<ul style="list-style-type: none"> Gesamtstädtischer Mittelwert 	<ul style="list-style-type: none"> Oberböden: 72 Standorte 	<ul style="list-style-type: none"> HÖKE (1994) 	<ul style="list-style-type: none"> Halle
<ul style="list-style-type: none"> differenziert nach Stadtstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> Oberböden: 72 Standorte, zugeordnet zu 6 Stadtstrukturtypen 	<ul style="list-style-type: none"> HÖKE & WALLOSSEK (1995) 	<ul style="list-style-type: none"> Halle
<ul style="list-style-type: none"> Einzelstandorte 	<ul style="list-style-type: none"> 22 Profile 	<ul style="list-style-type: none"> SCHULTE (1996) 	<ul style="list-style-type: none"> Leipzig
<ul style="list-style-type: none"> differenziert nach den drei Untersuchungsgebieten 	<ul style="list-style-type: none"> nicht horizontbezogen: Durchschnitt aller ermittelten Gehalte im jeweiligen Untersuchungsgebiet horizontbezogen: Durchschnitt der ermittelten Gehalte 	<ul style="list-style-type: none"> eigene Daten 	<ul style="list-style-type: none"> Halle-Neustadt Halle-Silberhöhe Leipzig-Grünau

Während sich die in Tab. 2 aufgeführten Untersuchungen i.d.R. auf Schwermetalle beziehen, gibt es in der Literatur für PAK wesentlich weniger Forschungsergebnisse, wenngleich seit einigen Jahren auch organische Schadstoffe intensiver untersucht werden.

Eine zweite Möglichkeit zur vergleichenden Beurteilung der medien- und elementspezifischen Belastungssituation besteht für die Schwermetalle z.B. darin, die jeweiligen Schwermetallkonzentrationen in **Beziehung zum Tongesteinsstandard** (TGS, Tab. 3; MERIAN 1984) zu setzen und ihren Anreicherungsfaktor (AF) zu bestimmen. Dabei spiegelt der TGS nach Untersuchungen von FRÜHAUF (1992) zum einen die lokalen Hintergrundbelastungen im Untersuchungsgebiet größenordnungsmäßig wider und erlaubt zum anderen auch überregionale Vergleiche. Diese Methode wurde von WINDE (1996) angewendet.

Tab. 3: Tongesteinsstandard der untersuchten Schwermetalle (in mg/kg; aus MERIAN 1984)

Cd	Cu	Pb	Zn
0,13	45	22	95

4.1.1 Schwermetalle

In Tab. 4 sind einige berechnete aktuelle Hintergrundwerte der Schwermetallgesamtgehalte für die Untersuchungsgebiete zusammengestellt. Außerdem sind die nach HÖKE (1994) gemittelten Schwermetallgehalte aufgeführt. Diese Schwermetallgehalte wurden im Totalaufschluß bestimmt und liegen somit höher als die in einem vergleichbaren Königswasseraufschluß.

Die berechneten Mittelwerte der **Oberböden** können bzw. müssen als **aktuelle** Hintergrundwerte verstanden werden, während die gemittelten Werte der C-Horizonte weitgehend den geogenen background ohne urbanen Einfluß charakterisieren. Der berechnete Durchschnittswert **aller Horizonte** erscheint auf den ersten Blick nicht sinnvoll, da dies methodisch eigentlich nicht zu begründen ist. Dennoch liefert dieser Wert einen Hinweis auf die durchschnittliche aktuelle "Belastung" in den Profilen. Im Sinne der Nachhaltigkeit könnte man z.B. diesen (momentanen) Wert als Zielwert definieren, wodurch eine Zunahme der Belastung verhindert würde. Dies wäre jedoch nicht realistisch, da in den Untersuchungsgebieten auch weiterhin (zumindest in nächster Zukunft) Emissionsquellen vorhanden sind.

Tab. 4: Berechnete aktuelle Hintergrundwerte (Mittelwerte) der Schwermetallgesamtgehalte für die Untersuchungsgebiete (Angaben in mg/kg)

		Anzahl	Cadmium	Kupfer	Blei	Zink
Oberböden (A-Horizonte)	Neustadt	13	0,81	21,7	46,0	109,1
	Silberhöhe	7	0,82	15,2	38,9	95,6
	Grünau	12	0,88	15,7	37,7	103,7
Oberböden, berechnet nach HÖKE 1994	Neustadt	11	1,19	30,1	56,4	154,4
	Silberhöhe	2	0,73	15,4	22,3	68,9
J(A), JY(A)	Neustadt	34	0,90	19,1	40,2	84,3
	Silberhöhe	11	0,59	11,8	32,4	69,0
	Grünau	21	0,82	15,1	48,7	109,6
J, JY	Neustadt	15	1,12	18,9	39,8	91,2
	Silberhöhe	3	0,69	15,7	17,4	54,6
	Grünau	12	0,64	10,5	19,6	68,9
C-Horizonte	Neustadt	3	0,12	12,4	26,7	43,4
	Silberhöhe	3	0,13	12,8	16,4	49,2
	Grünau	3	0,10	4,6	17,5	37,8
alle Horizonte	Neustadt	64	1,04	19,6	40,9	100,9
	Silberhöhe	28	0,64	13,4	24,1	62,7
	Grünau	45	0,74	12,8	40,4	90,8
J(A): durch natürliches Substrat bestimmter, umgelagerter prä-urbaner A-Horizont JY(A): wie J(A), vermischt mit technogenem Substrat J: allochthones natürliches Substrat JY: allochthones natürliches Substrat, vermischt mit technogenem Substrat						

Im Vergleich der drei Untersuchungsgebiete zeigt sich, daß für Cadmium nahezu gleiche durchschnittliche Gehalte in den Oberböden bestimmt wurden, während für die anderen Elemente jeweils in Neustadt die höchsten Werte berechnet wurden. Auch bzgl. der geogenen Hintergrundgehalte (C-Horizonte) stimmen die Gehalte für Cadmium fast überein, während bei den Kupfergehalten Neustadt und Silberhöhe deutlich vor Grünau, bei Blei hingegen Neustadt allein deutlich vor den beiden anderen Untersuchungsgebieten und bei Zink Silberhöhe vor Neustadt und dieses wiederum vor Grünau liegt. Auch geogene Hintergrundgehalte müssen also elementspezifisch und regional differenziert betrachtet werden! Im Durchschnitt aller Horizonte zeigt Neustadt für alle vier Elemente die höchsten Werte, Silberhöhe hingegen die niedrigsten. Insgesamt weisen alle ausgegliederten Horizonttypen elementspezifische Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten auf, was mit der unterschiedlichen "Geschichte" (bzgl. des Schadstoffinputs) der Großsiedlungen zu begründen ist.

Betrachtet man die berechneten **Anreicherungs-faktoren** im Bezug zum Tongesteinsstandard z.B. für die Oberböden (Tab. 5), so zeigen sich die elementspezifischen Unterschiede wesentlich deutlicher als Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten. Die Anreicherungs-faktoren schwanken für ein Element zwischen den Untersuchungsgebieten nur sehr gering.

Tab. 5: Anreicherungs-faktoren der mittleren Schwermetallgesamtgehalte in den Untersuchungsgebieten in Bezug zum Tongesteinsstandard

		Anzahl	Cadmium	Kupfer	Blei	Zink
Oberböden (A-Horizonte)	Neustadt	13	6,2	0,5	2,1	1,1
	Silberhöhe	7	6,3	0,3	1,8	1,0
	Grünau	12	6,8	0,4	1,7	1,1

Die Anreicherungs-faktoren über 6 für **Cadmium** bedeuten, daß dieses Element die höchsten Konzentrationen aufweist. Das Element mit den nächsthöheren Anreicherungs-faktoren ist **Blei** mit Faktor 2, was bedeutet, daß die gemessenen Gehalte um das Doppelte über den natürlichen liegen. **Zink** mit Faktor 1 liegt somit im Bereich der geogenen Grundgehalte, während **Kupfer** diese nur zur Hälfte "erreicht" (weswegen der Terminus Anreicherungs-faktor übrigens nicht ganz glücklich gewählt ist). Die Kupfergehalte liegen also deutlich unter den durchschnittlich in Böden vorkommenden Gehalten (MERIAN 1984). Methodisch ist besonders die aufsteigende Reihenfolge der Elemente interessant, denn sie "paßt" zu den hier nicht dargestellten Ergebnisse von SAUERWEIN (1998): Cadmium ist das

problematischste Element, gefolgt von Blei, während Zink und Kupfer in allen Untersuchungsgebieten weniger relevante Gehalte aufweisen.

4.1.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Auch für die PAK lassen sich entsprechend den Ausführungen im vorigen Abschnitt aktuelle Hintergrundwerte berechnen (Tab. 6). Da aus Labor-Kapazitätsgründen jedoch nur die Gehalte in den Oberböden und einigen tieferen Horizonten analysiert werden konnten, ist die Berechnung von Mittelwerten auch nur für die Oberböden und die C-Horizonte möglich.

Tab. 6: Berechnete aktuelle Hintergrundwerte (Mittelwerte) der PAK-Gehalte für die Untersuchungsgebiete (Angaben in ng/kg)

		Anzahl	BaP	Σ TWVO	Σ EPA
Oberböden (A-Horizonte)	Neustadt	13	103,5	779,1	1.664,1
	Silberhöhe	7	54,7	457,7	1.159,1
	Grünau	12	157,5	1.298,4	2.759,7
C-Horizonte	Neustadt	2	2,5	9,7	10,0
	Silberhöhe	1	1,8	6,8	8,2
	Grünau	1	2,2	7,9	11,4

BAP: Benzo(a)pyren; Σ TWVO: Summe der 6 Elemente der Trinkwasserverordnung;
Σ EPA: Summe der 16 Elemente der US-amerikanischen EPA-Liste

Die als Mittelwerte berechneten aktuellen Hintergrundwerte der PAK-Gehalte zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten. Sowohl für Benzo(a)pyren als auch für die Summe der sechs PAK der Trinkwasserverordnung und die Summe der 16 PAK der EPA-Liste liegen die Mittelwerte der Oberböden in der Silberhöhe um rd. die Hälfte unter denen von Neustadt und diese wiederum rd. ein Drittel unter den Werten von Grünau. Dies stimmt nicht mit dem Muster der Schwermetallgesamtgehalte überein, wo die Mittelwerte wesentlich enger beieinander liegen und das Untersuchungsgebiet Neustadt für Kupfer, Blei und Zink die relativ höchsten Mittelwerte aufweist.

Die Werte der C-Horizonte können unter Berücksichtigung der Meßfehler gerade bei diesen geringen Gehalten als identisch interpretiert werden. Daraus läßt sich schließen, daß die **geogenen Hintergrundwerte** für Benzo(a)pyren ca. 2 ng/kg, für die Summe der sechs PAK der Trinkwasserverordnung ca. 8 ng/kg und die Summe der 16 PAK der EPA-Liste ca. 10 ng/kg betragen. Diese Werte, die den Eintrag von PAK beinhalten, welche aus natürlichen Verbrennungsprozessen entstanden sind, können anders als bei den Schwermetallen regional verallgemeinert werden.

4.2 Zukunftsszenario - Schwermetalleintrag in exponierten Kontrollböden

Ein **Modell** ist die abstrahierte Darstellung von realen Zuständen und sich i.d.R. gegenseitig bedingenden Prozessen und Systemen als eine Struktur oder ein Prozeßgefüge (LESER 1997). Die räumliche ökologische Bewertung bzw. Modellierung ist oftmals nur mit einem GIS möglich (DUTTMANN & MOSIMANN 1994). Für den Boden bedeutet dies, daß neben (Stoff-)Eintrag in den Boden und Austrag aus ihm auch Prozesse innerhalb definierter Bodenausschnitte erkannt, bilanziert und verallgemeinert werden müssen (vgl. schon FRÄNZLE 1986). Gerade die Erkennung von Prozessen selbst ist schwierig, da dies meßtechnisch - besonders in bezug auf Schadstoffverlagerungen - bislang (im Sinne von Online-Messungen) nicht zu realisieren ist. Abhilfe schaffen die Messung von aktuellen Zuständen sowie die **Simulation im Labor** - z.B. Messung von aktuellem und potentielltem pH-Wert, Schwermetallaufschlüsse unter bestimmten Randbedingungen (Säurestreß) u.a. Problematisch ist besonders die Ableitung von Richtwerten aus den Modellierungsansätzen (EWERS & VIERECK-GÖTTE 1994).

Zur modellhaften Abschätzung des aktuellen Eintrags von Schwermetallen in städtische Böden wurde im Untersuchungsgebiet Halle-Neustadt an fünf exemplarischen Standorten mit Torf vermischter, unbelasteter Kontrollboden exponiert (Tab. 7) und nach einem halben bzw. einem Jahr auf die Elemente Cadmium, Kupfer, Blei und Zink analysiert. Dieses Verfahren hat sich bei der Erfassung stadtstrukturabhängiger Immissionen bereits bewährt (HAASE 1995, FRÜHAUF et al. 1996, ZIERDT 1997).

Tab. 7: Charakterisierung der Boden-Expositionsstandorte (Lage im Emissionsfeld) im Untersuchungsgebiet Halle-Neustadt

Standort	Charakterisierung
E 1	20 cm Entfernung zur Magistrale (Hauptverkehrsstraße durch Halle-Neustadt)
E 2	5 m Entfernung zur Magistrale
E 3	25 m Entfernung zur Magistrale
E 4	20 cm Entfernung zur Meisdorfer Straße (Wohngebiet)
E 5	autofreier Innenhof
E 6	Innenstadt Halle

Da in den Untersuchungsgebieten außer dem flächenhaften diffusen Eintrag der Kfz-Verkehr als aktueller Emittent dominiert (STADT HALLE 1997b), wurden die Standorte in bestimmten Lagen zu Straßen ausgewählt. Die Standorte E 1, E 2 und E 3 liegen direkt an der sechsspurigen Hauptverkehrsstraße im Zentrum von Halle-Neustadt und sind in Entfernungen von 20 cm, 1 m und 25 m vom Straßenrand platziert. Ein weiterer Standort (E 4) befindet sich in 20 cm Entfernung zur Meisdorfer Straße, wo kein Durchgangsverkehr herrscht, sondern nur Anwohnerverkehr. Als unbeeinflusster Standort (E 5) dient ein für den Kfz-Verkehr unzugänglicher Innenhof am Göttinger Bogen. Darüber hinaus wurde als gesamtstädtischer Referenzstandort (E 6) ein Boden in der Innenstadt von Halle (Domplatz) exponiert.

Analysiert wurden die vier Schwermetalle Cadmium, Kupfer, Blei und Zink im Königswasser- sowie im NH_4NO_3 -Aufschluß.

In Abb. 1 ist für jedes untersuchte Element eine Sequenz dargestellt, in der von links nach rechts die Verkehrsintensität abnimmt. Die Schwermetallgesamtgehalte der für ein Jahr exponierten Böden nehmen dabei für Kupfer, Blei und Zink sehr deutlich ab (logarithmische Darstellung!). Die Gradienten spiegeln das in der Literatur beschriebene Bild straßennaher Böden weitgehend wider (JONECK & PRINZ 1993, JONECK & PRINZ 1996, MATSCHULLAT et al. 1997, UNGER & PRINZ 1997). Für Cadmium liegen die Meßwerte allesamt nahe der analytischen Nachweisgrenze, so daß eine Differenzierung bzw. eine deutliche Trendaussage nicht möglich ist. Dafür ist die Expositionszeit zu kurz gewählt.

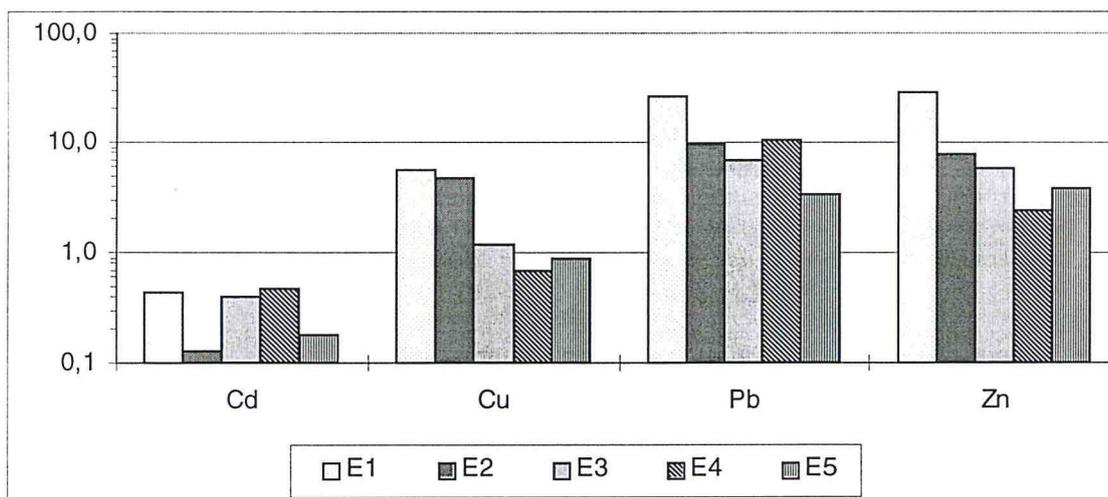


Abb. 1: Schwermetallgehalte (Gesamtgehalte-Königswasseraufschluß) in den Kontrollböden E 1 bis E 5 nach einjähriger Expositionszeit (Angaben in mg/kg)

Aus den empirisch ermittelten Daten lassen sich **Anreicherungs-faktoren (AF)** - Schwermetallgehalt nach der Exposition, dividiert durch den Schwermetallgehalt vor der Exposition - berechnen. Damit kann man Aussagen zum aktuellen (Schad-)Stoffinput treffen. Die in Abb. 2 dargestellten Anreicherungs-faktoren der Schwermetallgesamtgehalte zeigen wie die oben diskutierten Absolutgehalte deutlich den Zusammenhang mit dem Kfz-Verkehr. Am verkehrintensivsten Standort E 1 sind erwartungsgemäß - außer dem innerstädtischen Referenzstandort E 6 - die höchsten Anreicherungs-faktoren zu finden. Besonders Blei und Cadmium zeigen einen deutlich abnehmenden Gradienten mit zuneh-

mender Entfernung zur Straße von E 1 über E 2 nach E 3. Dies entspricht auch den Untersuchungen von MÜLLER & MEURER (1993) und KOCHER & PRINZ (1997).

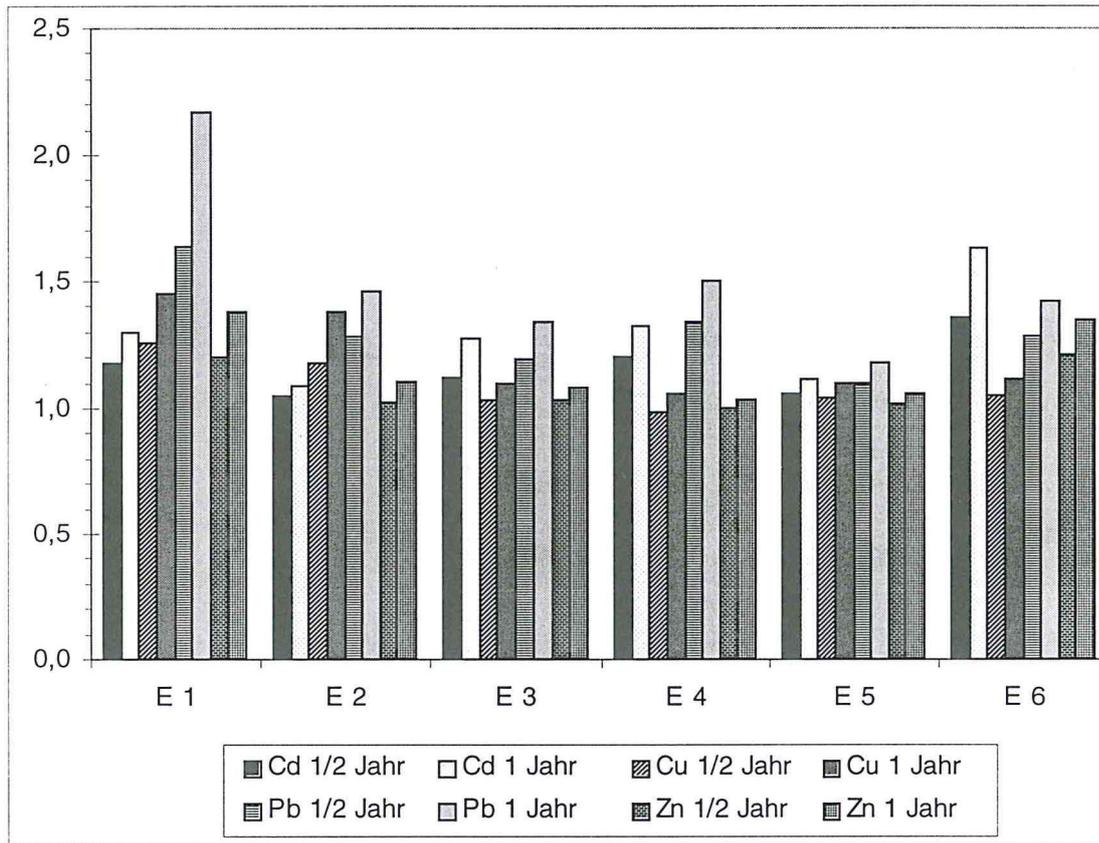


Abb. 2: Anreicherungs-faktoren für Cadmium, Kupfer, Blei und Zink (Gesamtgehalte-Königswasser) in den Kontrollböden E 1 bis E 6 nach der sechsmonatigen bzw. einjährigen Expositionszeit im Untersuchungsgebiet Halle-Neustadt

Insgesamt erweist sich **Blei als aussagekräftigster Indikator** für eine Immissionsbewertung des Kfz-Verkehrs, während die Anreicherungs-faktoren für Kupfer und Zink nahezu 1 bleiben. Die Lage der Standorte E 4 und E 5 spiegelt ebenso den Einfluß des Kfz-Verkehrs wider. Am Kfz-freien Standort E 5 sind die Anreicherungs-faktoren für alle vier untersuchten Schwermetalle nahezu 1, d.h. es hat keine Anreicherung stattgefunden, während am Standort E 4 der "Parkplatz"-Verkehr erkennbar ist.

Besonders deutlich wird bei der Musterbetrachtung die Abnahme der Bleigehalte (d.h. deren Anreicherungs-faktoren) mit der Abnahme der Verkehrsintensität. Für Cadmium, Kupfer und Zink ist eine dementsprechende Abnahme nicht erkennbar. Generell gilt, daß die Anreicherungs-faktoren zwischen den halbjährig und den einjährig exponierten Böden für alle vier Elemente jeweils um den fast gleichen Faktor ansteigen, d.h. daß im ersten Halbjahr auch ungefähr die Hälfte der ganzjährigen Werte immit-tiert wurde. Dies ist damit zu begründen, daß in der Großsiedlung die Schadstoffemissionen - bevor-zugt die des Kfz-Verkehrs - nicht jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen wie die Emissionen in der Innenstadt, wo (hauptsächlich im Winter) Feuerungsanlagen die Emission dominieren. Der innerstädti-sche Referenzstandort E 6 zeigt ein gänzlich anderes Verteilungsmuster als die Standorte E 1 bis E 5 in der Großsiedlung. Nicht Blei dominiert, sondern Cadmium und Zink, welche die Indikatoren beson-ders für innerstädtische Hausbrand-Emissionen (Braunkohlefeuerung) sind und die höchsten Anrei-cherungs-faktoren aufweisen (vgl. auch HAASE 1995, FRÜHAUF et al. 1996).

Um Aussagen zur Bindungsform bzw. zu Mobilitätseigenschaften der in die Kontrollböden eingetragenen Schwermetalle machen zu können, wurden die Proben außer mit Königswasser noch mit NH_4NO_3 aufgeschlossen. Die berechneten Anreicherungs-faktoren der ammoniumnitratlöslichen Schwermetalle zeichnen für Blei das Muster der königswasserlöslichen Anteile nach. Da alle Cadmiumgehalte unter der analytischen Nachweisgrenze liegen, ist eine Berechnung der Anreicherungs-faktoren nicht mög-lich. Bezüglich des Gefährdungspotentials durch mobilisierbare Schwermetalle liegt die Priorität bei Blei, gefolgt von Zink und am Ende Kupfer. Die Anreicherungs-faktoren der ammoniumnitratlöslichen

Schwermetallgehalte liegen für Kupfer nur wenig über 1, was dadurch verständlich ist, daß die Anreicherungsfaktoren der Gesamtgehalte auch nur wenig über 1 betragen.

Extrapoliert man die Einträge in die exponierten Böden mittels der berechneten Anreicherungsfaktoren, so ergibt sich ein Bild der zukünftigen Entwicklung, das in Abb. 3 dargestellt ist. Es ist erkennbar, daß am jeweils gleichen Standort die Blei- und Zinkeinträge entsprechend dem gemessenen höheren einjährigen Eintrag wesentlich schneller ansteigen (werden) als die Zinkgehalte. Während sich der Anreicherungsfaktor bei gleichbleibendem Eintrag für Blei am Standort E 1 in ca. 10 Jahren verzehnfachen wird, tritt dies für Zink am gleichen Standort erst in 30 Jahren ein. Sehr deutlich wird die Nähe zu den Emissionsquellen, d.h. die Lage der Standorte zu verkehrsreichen Straßen. Während sich die Anreicherung für Blei am Standort E 1 in 30 Jahren um den Faktor 30 erhöht, zeigt sie für den gleichen Zeitraum am Standort E 5 nur den Faktor 3 an.

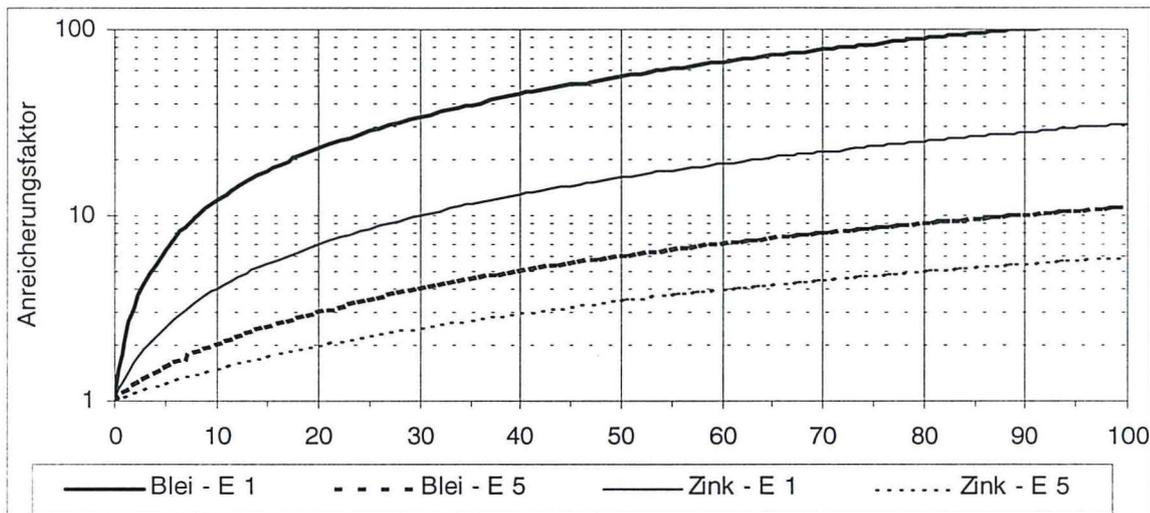


Abb. 3: Zeitliche Extrapolation (100 Jahre) der ermittelten Blei- und Zinkeinträge in die exponierten Böden (Gesamtgehalte, Standorte E 1 und E 5) im Untersuchungsgebiet Halle-Neustadt

Generell muß beachtet werden, daß nur der Eintrag gemessen und simuliert werden kann. Dies bedeutet, daß bodeninterne Verlagerungen bzw. der Austrag von Schwermetallen in Abb. 3 nicht mit eingehen. Dieses Problem wäre nur durch einen Dauerversuch auf definierten und in regelmäßigen Abständen beprobten Beobachtungsflächen zu klären. Es ist deshalb zu erwarten, daß die Anreicherung im Oberboden nicht in dem Maße zunehmen wird wie die gemessenen Gehalte bzw. die berechneten Anreicherungsfaktoren. Dennoch kann abgeschätzt werden, welchen Einfluß z.B. die Verringerung der Einträge haben würde. Beispielsweise würde die Reduktion des im Untersuchungszeitraum gemessenen Zink-Eintrags am Standort E 1 (Anreicherungsfaktor 1,38) auf den Faktor 1,06 der Entwicklung des Standortes E 5 entsprechen.

4.3 Vorschlag für ein Untersuchungsprogramm

Nachdem in dem vorigen Kapitel Indikatoren abgeleitet wurden, die als steuernde bzw. repräsentative Größen in den untersuchten Böden interpretiert werden, bietet es sich an, diese zu nutzen, um künftige Untersuchungen zu standardisieren. Dies führt zur Verringerung des Meßaufwandes, ohne daß dabei wesentliche ökosystemare Eigenschaften unberücksichtigt bleiben. Es soll an dieser Stelle jedoch noch einmal betont werden, daß die in Tab. 8 aufgeführten Parameter bzw. das Untersuchungsprogramm nicht dazu dienen (und dienen können), eine Altlastenuntersuchung o.ä. zu ersetzen. Die Methode dient vielmehr zielorientiert dazu, "normale" (d.h. nicht singular belastete) städtische Böden zu untersuchen, um Standorte innerhalb eines Untersuchungsgebietes geoökologisch vergleichend zu bewerten.

Bei den **Schwermetallen** wird vorgeschlagen, auf die Messung von Kupfer zu verzichten, da sich gezeigt hat, daß die Kupfergehalte zum einen (bzgl. existierender bzw. vorgeschlagener Grenzwerte) insgesamt die niedrigsten Werte aufweisen und zum zweiten signifikante Zusammenhänge zu Blei existieren. Neben der allgemeinen Steuergröße **pH-Wert** sollte der Gehalt an **Humus** (bzw. organischer Substanz) bestimmt werden, da besonders die Schadstoffe Korrelationen zu diesem Parameter zei-

gen. Zur Charakterisierung bzw. Abschätzung des physikalischen Regimes im Oberboden scheint der **Scherwiderstand** geeignet zu sein, zudem er im Gelände sehr leicht meßbar ist. Für die **PAK** ist es geboten, neben der Summe der 16 Verbindungen der EPA-Liste besonders auf Benzo(a)pyren zu achten, das als kanzerogene Verbindung mit den übrigen PAK korreliert und humantoxikologisch am besten untersucht ist. Die Betrachtung der Summe der sechs Verbindungen der Trinkwasserverordnung ist notwendig, um bei der Frage der Belastung von Grundwässern durch Verlagerung/Auswaschung von PAK aus den Böden eine ökosystemare Bilanzierungsgröße zur Verfügung zu haben.

Tab. 8: In einem standardisierten Untersuchungsprogramm für Schwermetalle und PAK zu bestimmende Parameter

	Parameter	Bemerkungen/Methode
Boden-Parameter	pH-Wert	potentieller pH-Wert, DIN 19684
	Humusgehalt	Humusgehalt bzw. organische Substanz
	Scherwiderstand	
Schwermetalle	Gesamtgehalte Cd, Pb, Zn	DIN 38414
	mobilisierbare Gehalte Cd, Pb, Zn	DIN V 19730
PAK	BaP	EPA
	Σ TWVO	
	Σ 16 PAK der EPA-Liste	

4.4 Boden-Umweltstandards für die Untersuchungsgebiete

Aufgrund von Literaturrecherchen und eigenen Untersuchungen (SAUERWEIN 1998) wird vorgeschlagen, keine der in den gängigen Listen angegebenen Prüfwerte als Boden-Standards zu verwenden. Da sich gezeigt hat, daß z.B. die Bodenwerte II der Eikmann-Kloke-Liste bzw. der Sachsen-Anhalt-Liste im Vergleich zu den ermittelten Gehalten elementspezifisch sehr große Unterschiede bei den berechneten Grenzwertfaktoren aufweisen, erscheint es nicht sinnvoll, mit Rücksicht auf die regionalen Besonderheiten solche Werte als Zielgrößen zu definieren.

Es ist schwierig, Standards für andere Bodenhorizonte außer den A-Horizonten/Oberböden festzulegen. C-Horizonte sind dadurch gekennzeichnet, daß sie als anthropogen unbeeinflusste Substrate Gehalte aufweisen, die sich nicht als Handlungsstandards eignen (denn sonst müßte jede anthropogene Aktivität, die zu Emissionen führt, eingestellt werden). Anthropogene Misch- bzw. rein technogene Substrate, die unter den Oberböden lagern, sollten nicht als Schadstoffsinken genutzt werden, indem ihnen höhere Standards zugewiesen werden als den Oberböden. Eine Übertragung der Oberboden-Standards auf solche Horizonte erscheint deshalb sinnvoll. Auch umgelagerte, mehr oder weniger natürliche Oberbodensubstrate (J(A), JY(A)) sollten keine höheren Gehalte zugebilligt bekommen als die Oberböden selbst. Die abgeleiteten Standards sollten also auf alle Böden mit Ausnahme natürlicher, anthropogen unbeeinflusster C-Horizonte angewendet werden.

Für die Schwermetalle Cadmium, Kupfer, Blei und Zink lassen sich aus den mittleren horizontbezogenen Gesamtgehalten (Tab. 4), differenziert nach den Untersuchungsgebieten und unter Beachtung des ermittelten einjährigen Eintrages über den atmogenen Pfad (Kap. 4.2), unter bestimmten Prämissen elementbezogene Zielwerte ableiten (Tab. 9). Vorausgesetzt wird, daß die Standards als Zielwerte für die nächsten zehn Jahre verstanden werden, was bedeutet, daß in zehn Jahren die Standards nicht überschritten werden sollen. Dies ist eine Zeitspanne, die überschaubar ist, und in welcher der Stoffeintrag realistisch abgeschätzt werden kann.

Tab. 9: Umweltstandards für Böden in den Untersuchungsgebieten (Schwermetalle und PAK)

	Schwermetallgesamtgehalte [mg/kg]				PAK [ng/g]	
	Cadmium	Kupfer	Blei	Zink	BaP	Σ PAK
Halle-Neustadt	1	25	60	130	130	2.000
Halle-Silberhöhe	1	20	50	120	70	1.400
Leipzig-Grünau	1	20	50	130	190	3.300
Methode	DIN				EPA	

Die **Schwermetall-Standards** wurden hauptsächlich aus den ermittelten durchschnittlichen Gehalten der Oberböden abgeleitet. Sie liegen rd. 20 % über den mittleren Gehalten der A-Horizonte in den Untersuchungsgebieten. Dies führt dazu, daß z.B. für die J/JY-Horizonte der durchschnittliche Cadmiumgehalt im Untersuchungsgebiet Halle-Neustadt den Standard um 12 % übersteigt. Das bedeutet, daß für diese Horizonte Handlungsbedarf besteht. Auch der ermittelte durchschnittliche Gehalt aller Horizonte liegt 4 % über dem Standard. Da sich gerade Cadmium als das potentiell gefährlichste Element herausgestellt hat, scheint es gerechtfertigt, den Standard auf 1 mg/kg zu setzen, um einer Erhöhung der Belastung nachhaltig entgegen zu wirken. Für die Gruppe der J(A)/JY(A)-Horizonte (und selbstverständlich auch der C-Horizonte) liegen die Standards auch für Cadmium unter den ermittelten durchschnittlichen Gehalten. Die Standards der anderen drei Elemente werden sonst für keine der ermittelten durchschnittlichen Gehalte erreicht. Bezogen auf die nächsten zehn Jahre sollten also Einträge in die Böden so gesenkt bzw. verhindert werden, daß die Standards nicht erreicht oder überschritten werden. Die Standorte oder Horizonte, bei welchen die aktuellen Gehalte über den Standards liegen, dürfen dabei jedoch nicht als Sanierungsstandorte verstanden werden, sondern als solche, die über einem für das Untersuchungsgebiet "üblichen" mittleren Zielwert liegen. Eine Sanierung muß auf der Basis rechtlich verbindlich vorgegebener Prüfwerte (z.B. Sanierungsschwellenwerte der Sachsen-Anhalt-Liste) vorgenommen werden.

Die **Standards für die PAK** leiten sich aus ca. 20 % höheren Werten der ermittelten durchschnittlichen Gehalte der Oberböden ab. Das bedeutet, bezogen auf die nächsten zehn Jahre sollten die momentan gemessenen mittleren Gehalte in den Untersuchungsgebieten um nicht mehr als 20 % ansteigen bzw. die Gehalte in Böden von Freiflächen sollten nicht höher sein als die Standards. Gegenüber den Schwermetallen unterscheiden sich die Standards der PAK zwischen den Untersuchungsgebieten wesentlich mehr, wobei Grünau deutlich vor Neustadt und dies wiederum deutlich vor Silberhöhe liegt. Eine eindeutige Begründung für diesen Sachverhalt läßt sich z.Z. nicht geben.

Die Gültigkeit der vorgeschlagenen Umweltstandards muß in dem Sinn eingeschränkt werden, als daß sie sich nur auf die "normalen" Freiflächenböden der untersuchten Großsiedlungen beziehen, also nicht für spezielle Nutzungen wie z.B. Kleingärten oder Kinderspielflächen gelten. Eine Regionalisierung (z.B. Übertragung auf andere Stadtstrukturtypen) sollte nur durch vergleichende empirisch-analytische Untersuchungen durchgeführt werden, um die ökosystemaren Eigenschaften des Stoffeintrags in die Böden (städtische Emissionsquellen und Transportpfade) entsprechend zu berücksichtigen. Abschließend wird noch einmal betont, daß die formulierten Boden-Umweltstandards deutlich unter den in der Sachsen-Anhalt-Liste bzw. bei EIKMANN & KLOKE (1993) angegebenen Prüfwerten liegen und mehr als umweltpolitisches Ziel denn als Wert einer Gefahrenabwehr verstanden werden sollen.

Literatur

- ALTERMANN, M. (1972): Die Bodenkarte der Umgebung von Halle (S) - Inhalt, Darstellung und Auswertungsmöglichkeiten. *Petermanns Geogr. Mitt.*, **116**, 4, 315 - 318.
- ALTERMANN, M., R. FELDMANN & M. STEININGER (1997): Schwermetallgehalte der Böden im mitteldeutschen Ballungsraum - ein Überblick. *UFZ-Ber.* **15/97**.
- AMMON, I. (1982): Beiträge zu stadtökologischen Fragen von Halle/Halle-Neustadt. Diss. A., Univ. Halle.
- BACHMANN, G. (1996): Bodenqualitätsziele des vorsorgenden Bodenschutzes - Stand der Überlegungen. In: Franzius, V. & G. Bachmann [Hrsg.]: Sanierung kontaminierter Standorte und Bodenschutz 1996. Berlin, 55 - 72.
- BERGER, C. (1995): Planungsrelevante Bodenbewertungskriterien: Anforderungen und Möglichkeiten. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, **76**, 1257 - 1260.
- BILLWITZ, K. & J. BREUSTE (1980): Anthropogene Bodenveränderungen im Stadtgebiet von Halle/Saale. *Wiss. Zschr. Univ. Halle, Math.-Nat. R.*, **XXIX**, 4, 25 - 43.
- BLUME, H.-P. & U. SCHLEUSS [Hrsg.] (1997): Bewertung anthropogener Stadtböden. *Schriftenr. d. Inst. f. Pflanzenernähr. u. Bodenkde.*, **38**, Univ. Kiel.
- BONGARD, B. & A. SCHNAUDT (1993): Flächennutzungsplan und Bodenschutz am Beispiel der Landeshauptstadt Kiel. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, **72**, 851 - 854.
- BREUSTE, J. (1979): Anthropogene Bodenveränderungen im Stadtgebiet von Halle und Halle-Neustadt. *Dipl.-Arb., Univ. Halle, Sekt. Geogr.*
- BROLL, G. (1997): Bodenqualitätsziele, Ergebnisse einer Podiumsdiskussion. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, **85**, 1575 - 1578.
- COBURGER, E. & H. KRETSCHMER (1997): Die Konzeptbodenkarte für das Stadtgebiet Rostock. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, **84**, 135 - 138.

- DE HAAN, F.A.M., W.H. VAN RIEMSDIJK & M. VAN DER ZEE (1993): General concepts of soils. In: Eijsackers, H.J.P. & T. Hamers [Eds.]: Integrated soil and sediment research: A basis for proper protection. Dordrecht, Boston, London, 155 - 170.
- DUTTMANN, R. & T. MOSIMANN (1994): Die ökologische Bewertung und dynamische Modellierung von Teilfunktionen und -prozessen des Landschaftshaushaltes - Anwendungen und Perspektiven eines geoökologischen Informationssystems in der Praxis. Petermanns Geogr. Mitt., **138**, 1, 3 - 17.
- EIKMANN, T. & A. KLOKE. (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden - Eikmann-Kloke-Werte. In: Rosenkranz, D., G. Einsele. & H.-M. Harress [Hrsg.]: Bodenschutz. Berlin, Losebl.-Ausg., Bd. **2**, Kennz. 3590, 1 - 26.
- EITNER, K. (1996): Ein kommunales Umweltqualitätszielkonzept für die Stadt Halle (Saale). Dipl.-Arb., Univ. Halle, Inst. f. Geogr.
- EWERS, U. & L. VIERECK-GÖTTE (1994): Bestandsaufnahme der vorliegenden Richtwerte zur Beurteilung von Bodenverunreinigungen und synoptische Darstellung der diesen Werten zugrundeliegenden Ableitungskriterien und -modelle. Berlin (= UBA-Texte, **10/93**).
- FELDHAUS, D., M. SCHRÖDTER & U. GUTTECK (1996): Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden des Landes Sachsen-Anhalt. Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt, **2**, 205 - 211.
- FRÄNZLE, O. [Hrsg.] (1986): Geoökologische Umweltbewertung. Wissenschaftstheoretische und methodische Beiträge zur Analyse und Planung. Kieler Geogr. Schr., **64**.
- FROTSCHER, W. (1990): Verfahren der Luftbildinterpretation zur Unterstützung urbanökologischer Untersuchungen in der Stadtregion Halle. Diss. A, Univ. Halle.
- FRÜHAUF, M. (1975): Die Dynamik des landeskulturellen Zustandes beim Bau von Halle-Neustadt. Dipl.-Arb., Univ. Halle, Sekt. Geogr.
- FRÜHAUF, M. (1992): Zur Problematik und Methodik der Getrennterfassung geogener und anthropogener Schwermetallgehalte in Böden. Geoökodynamik, **XIII**, 97 - 120.
- FRÜHAUF, M., K. DIABY, M. SAUERWEIN & M. ZIERDT (1996): Geoökologische Charakterisierung Hallischer Kleingärten. UFZ-Ber. **8/96**, 7 - 154.
- FÜRST, D. (1990): Stellenwert von Umweltqualitätszielen innerhalb der Umweltplanung. UVP-report, **4**, 3, 56 - 60.
- FÜRST, D. & H. KIEMSTEDT [Hrsg.] (1990): Umweltqualitätsziele. Diskussionsstand und Perspektiven für die ökologische Orientierung von Planungen. Schriftenr. d. Fachber. Landespflege d. Univ. Hannover, **27**.
- FÜRST, D., H. KIEMSTEDT, E. GUSTEDT, G. RATZBOR & F. SCHOLLES (1992): Umweltqualitätsziele für die ökologische Planung. Hannover (= UBA-Texte, **34/92**).
- GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (GLSA) (1997): Bodenkarte Halle und Umgebung 1 : 50.000. Halle.
- GERTH, E. (1993): Ein Vorschlag zur Erstellung von Konzeptbodenkarten. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **72**, 903 - 906.
- GRENZIUS, R. (1993): Konzeptbodenkarten für den städtischen Raum. Zschr. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., **156**, 209 - 212.
- GUSTEDT, E. (1990): Umweltqualitätsziele für Gewässer, Boden sowie Arten und Biotope. UVP-Spezial, **4**, 156 - 162.
- HAASE, D. (1995): Die Belastung des Stadtgebietes der Großstadt Leipzig mit ausgewählten Schwermetallen unter Berücksichtigung der Stadtstruktur. Dipl.-Arb., Univ. Halle, Inst. f. Geogr.
- HARTMANN, K.-J. & R. SCHMIDT (1995): Methodenbausteine im Bodeninformationssystem - Fachinformationssystem Bodenschutz Brandenburg. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **76**, 1061 - 1064.
- HEIN, D. & T. DELSCHEN (1994): Beurteilung von PAK und PCB in Kulturböden. Wasser & Boden, **46**, 1, 54 - 59.
- HEINIG, S. (1995): Ökosystemare Bodenbewertung. UVP-report, **9**, 3, 115 - 116.
- HERTLING, T. & N. RASCHKE (1995): Methode zur Bewertung von Schadstoffgehalten in Böden im Rahmen der UVP. UVP-report, **9**, 1, 14 - 18.
- HINDEL, R. & H. FLEIGE (1989): Verfahren zur Unterscheidung lithogener und anthropogener Schwermetallanreicherungen in Böden. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **59/1**, 389 - 394.
- HINDEL, R. & H. FLEIGE (1991): Schwermetalle in Böden der Bundesrepublik Deutschland - geogene und anthropogene Anteile. Berlin (= UBA-Texte, **13/91**).
- HINDEL, R., E. GEHRT, W. KANTOR & E. WEIDNER (1998): Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen. In: Rosenkranz, D., G. Einsele & H.-M. Harress [Hrsg.]: Bodenschutz. Berlin, Losebl.-Ausg., Bd. **1**, Kennz. 1520, 1 - 75.
- HÖKE, S. (1994): Schwermetallgehalte in Böden der Stadt Halle. Dipl.-Arb., Univ. Köln, Inst. f. Geogr.
- HÖKE, S. & C. WALLOSSEK 1995: Zusammenhänge zwischen Schwermetallgehalten in Oberböden und den Stadtstrukturen der Stadt Halle/Saale. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **76**, 1073 - 1076.

- JONECK, M. & R. PRINZ (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. GLA-Fachber., 9, Bayer. Geol. Landesamt, München.
- JONECK, M. & R. PRINZ (1994): Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA-Fachber., 12, Bayer. Geol. Landesamt, München.
- JONECK, M. & R. PRINZ (1996): Organische und anorganische Schadstoffe in straßennahen Böden unterschiedlich stark befahrener Verkehrswege in Bayern. Wasser & Boden, 48, 9, 49 - 54.
- KAHLE, P. & E. COBURGER (1997): Untersuchungen zum Schwermetallstatus Rostocker Stadtböden. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 85, 1175 - 1178.
- KEIDEL, T., M. WINKLER & J. BREUSTE (1996): Probleme der Freiraumentwicklung der Großsiedlung Grünau. In: Breuste, J. [Hrsg.]: Stadtökologie und Stadtentwicklung. Das Beispiel Leipzig. Berlin, 111 - 120 (= Schr. angew. Umweltforsch., 4).
- KIEMSTEDT, H. (1989): Bewertung im Rahmen der UVP. Raumforsch. u. Raumord., 47, 2-3, 94 - 100.
- KIENE, A. & G. MIEHLICH (1997): Bodenbewertung im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 85, 1187 - 1190.
- KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (KVO) vom 15. April 1992. BGBl. 1992, Teil I, 912 - 934.
- KLOKE, A. & H.-P. LÜHR (1991): Das Drei-Bereiche-System (DBS) zur Beurteilung von Kontaminationen von Böden. IWS-Schriftenr., 13, 267 - 278.
- KNAUER, P. & U. SURBURG (1990): Umweltqualitätszielkonzepte als Instrument der Umweltpolitik. UVP-report, 4, 3, 38 - 56.
- KNAUER, P. (1995): Umweltqualitätsziele für Konzepte nachhaltiger Nutzung. scientia halensis, 2/95, 23 - 24.
- KNEIB, W.D. (1993): Anwendungsorientierte kommunale Bodenschutzkonzepte. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 72, 1359 - 1362.
- KOCHER, B. & D. PRINZ (1997): Herleitung von Kenngrößen zur Schadstoffbelastung des Schutzgutes Boden durch den Straßenverkehr. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 84, 159 - 162.
- KRUMBIEGEL, G. & M. SCHWAB (1974): Saalestadt Halle und Umgebung. Ein geologischer Führer. 2 Bde., Halle.
- KÜHLING, W. (1997): Bietet das vom Sachverständigenrat für Umweltfragen vorgeschlagene Verfahren zur Festlegung von Umweltstandards einen Ansatz zur Sicherung der Umweltqualität? Hallesches Jahrb. Geowiss., A, 19, 59 - 66.
- LESER, H. (1997): Landschaftsökologie. 4. Aufl., Stuttgart (Uni-Taschenbücher, 521).
- MATSCHULLAT, J., H.J. TOBSCHALL & H.-J. VOIGT (1997): Geochemie und Umwelt. Berlin.
- MERIAN, E. [Hrsg.] (1984): Metalle in der Umwelt. Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. Weinheim.
- METEOROLOGISCHER DIENST DER DDR [Hrsg.] (1987): Klimadaten der DDR - Ein Handbuch für die Praxis. R. B, 14: Klimatologische Normalwerte 1951/80. Potsdam.
- MINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT DES LANDES SACHSEN-ANHALT (MRLU) (1996): Umweltbericht Sachsen-Anhalt 1995. Magdeburg.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DES LANDES SACHSEN-ANHALT (MUN) (1992): Handlungsempfehlungen für den Umgang mit kontaminierten Böden im Land Sachsen-Anhalt. Magdeburg.
- MOSIMANN, T. (1993): Bodenschutzkonzepte. Geogr. Rundschau, 45, 6, 366 - 373.
- MÜLLER, H.-N. & M. MEURER (1993): Blei als Indikator verkehrsbedingter Belastungen im Stadtökosystem. Petermanns Geogr. Mitt., 137, 1, 13 - 31.
- NEUMANN, N. (1997): Möglichkeiten der Nutzung von CIR-Luftbildern bei der Erfassung und Charakterisierung der Stadtlandschaft am Beispiel von Halle (Saale). Unveröff. Projektarb., Inst. f. Geogr. d. Univ. Halle.
- PIETSCH, J. (1990): Entwicklung und Ableitung eines medienübergreifenden, ökosystemar begründeten Systems von Umweltqualitätszielen für das Gebiet der Hansestadt Lübeck. UVP-report, 4, 4, 53 - 57.
- REINIRKENS, P. & C. VARTMANN (1995): Erfassung und Beurteilung von stoff- und naturhaushaltlichen Beziehungen in Böden als Instrument für den kommunalen Bodenschutz. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 76, 1157 - 1160.
- RUCK, A. (1989): Beurteilung von Schadstoffen im Boden - ein Kriterienkatalog. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 59/II, 965 - 968.
- SAUERWEIN, M. (1998): Geoökologische Bewertung urbaner Böden am Beispiel von Großsiedlungen in Halle und Leipzig - Kriterien zur Ableitung von Boden-Umweltstandards für Schwermetalle und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe. Diss., Univ. Halle (erschieden als UFZ-Ber. 19/98).
- SCHRÖDER, W. (1995): Normwerte im Bodenschutz als Bestandteile landschaftlicher Leitbilder. Mitt. Norddt. Naturschutzakad., 6, 1, 36 - 46.
- SCHULTE, G. (1996): Stadtböden - Schadstoffbelastung und Schadstoffmobilität. UFZ-Ber. 11/96.
- SMETTAN, U. & N. LITZ (1997): Konzept zur Schutzwürdigkeit von Böden und dessen Anwendung im Großraum Berlin. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 85, 777 - 780.

- STADT HALLE (1993): 1. Umweltbericht der Stadt Halle.
STADT HALLE (1995): Flächennutzungsplan Halle (Saale). Vorentwurf, Stand August 1995.
STADT HALLE (1997a): Verkehrspolitisches Leitbild der Stadt Halle (Saale). Stadtplanungsamt.
STADT HALLE (1997b): 2. Umweltbericht der Stadt Halle.
STADT HALLE (1998): Landschaftsrahmenplan der Stadt Halle (Saale). Entwurf, Stand Februar 1998.
STADT LEIPZIG (1995): Flächennutzungsplan der Stadt Leipzig.
STADT LEIPZIG (1996): Umweltqualitätsziele und -standards für die Stadt Leipzig.
STADT WIESBADEN (1996): Umweltqualitätsziele - Kontrolle der Umsetzung - Novellierung 1995. Umweltber. Nr. 10.
STOYE, H. (1994): Leipziger Stadtböden. Tagungsbd. 1. Leipziger Symposium "Stadtökologie in Sachsen", 102 - 109.
SUTTNER, T., W. GRUBAN & H.-H. SCHRAA (1993): Stadtbodenkarte München Allach 1 : 5.000. Von der Analog- zur Auswertekarte. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **72**, 1073 - 1076.
UMLANDVERBAND FRANKFURT (UVF) (1991): Umweltschutzbericht Teil V - Bodenschutz. Frankfurt/Main.
UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (1993): Verfahren zur Festlegung von Umweltstandards. Berlin (= UBA-Texte, **55/93**).
UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (1994): Methodische Bausteine für die Bewertung von Böden und für die Ableitung von Bodenqualitätszielen. Statusbericht. Berlin (unveröffentl. Entwurf).
UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE [Hrsg.] (UFZ) (1995): Bodenkartierung Leipzig 1 : 25.000.
UNGER, H.-J. & D. PRINZ (1997): Bodenbelastung an Straßen mit Schwermetallen und organischen Fremdstoffen. In: Rosenkranz, D., G. Einsele & H.-M. Harress [Hrsg.]: Bodenschutz. Berlin, Losebl.-Ausg., Bd. **2**, Kennz. 7320, 1 - 65.
VOLMER, M. (1990): Zielsetzungen für Funktionen und Nutzungsfähigkeiten von Böden. In: UVP-report, **4**, 4, 63 - 68.
WINDE, F. (1996): Schlammablagerungen in urbanen Vorflutern. Ursachen, Schwermetallbelastung und Remobilisierbarkeit, untersucht an Vorflutern der Saaleaue bei Halle. Diss., Univ. Halle.
ZIERDT, K. (1991): Untersuchungen zur geogenen und anthropogenen Schwermetallbelastung ausgewählter Hallescher Böden. Diss., Univ. Halle.
ZIERDT, M. (1997): Umweltmonitoring mit natürlichen Indikatoren. Berlin u.a.

Anschrift des Autors:

Dr. rer. nat. Martin Sauerwein
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Geographie
Domstraße 5
D-06108 Halle
E-mail: sauerwein@geographie.uni-halle.de