

Hans-Jürgen KLINK, Bochum

Ergebnisse siedlungsökologischer Untersuchungen im Ruhrgebiet*

BESONDERHEITEN DER SIEDLUNGSÖKOLOGISCHEN SYSTEME

Seit einigen Jahren werden auch Siedlungen bis hin zu dicht gebauten Städten als Ökosysteme aufgefaßt (1). Auf diese Weise können die Veränderungen der Umwelt im besiedelten Bereich besser in ihren Verflechtungen erfaßt und in ihren Auswirkungen auf das Leben dargestellt werden. In diesem Sinne wird von Stadtökologie gesprochen. Hier wird der allgemeinere Begriff „Siedlungsökologie“ vorgezogen, denn eine Städte- und Industrieregion wie das Ruhrgebiet besteht nicht nur aus städtischen Siedlungsverdichtungen und Industriekomplexen, sondern dazwischen liegen ehemalige ländliche Siedlungen, um die sich zumeist mehr oder weniger ausgedehnte Einzelhaussiedlungen mit Gärten entwickelt haben. Auch größere Reste der Fluren der ehemaligen Dorfsiedlungen sind noch vorhanden und werden landwirtschaftlich genutzt, denn vor allem der Südteil des Ruhrgebietes, der in der Westlichen Hellwegbörde liegt, weist hochwertige Ackerböden auf. Die Freiflächen zwischen den Industriestädten sind zwar in unterschiedlicher Weise durch die Auswirkungen der Siedlungen und der Industrie belastet, haben aber dennoch wichtige ökologische Ausgleichs- und Erholungsfunktionen. Bereits 1923 hat der Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk, der Vorläufer des heutigen Kommunalverbandes Ruhrgebiet (KVR), die noch vorhandenen Freiflächen zwischen den Städten des Verbandsgebietes als sogenannte „Regionale Grünzüge“ ausgewiesen. Sie sollten wegen ihrer klimatischen Ausgleichswirkungen und ihrer Naherholungsfunktion möglichst von einer Bebauung freigehalten werden, was insbesondere in den Jahren nach 1950 leider nicht eingehalten worden ist. All diese Flächen unterschiedlicher Nutzung und Bebauung sind bei einer ökologischen Betrachtung des Ruhrgebietes zu berücksichtigen, weshalb der allgemeinere Begriff „Siedlungsökologie“ angebrachter erscheint.

Eine viel zitierte Definition für den Begriff „Ökosystem“ hat ELLENBERG (1973, 1) gegeben. Danach sind Ökosysteme Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt, die zwar offen, aber bis zum gewissen Grade

* Herbert Liedtke gewidmet.

zur Selbstregulation befähigt sind. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise umfassen sie bestimmte Organisationsebenen der hierarchisch geordneten Materie (2). Diese Definition, in der die begrenzte Fähigkeit zur Selbstregulation betont wird, trifft nur für natürliche oder allenfalls für naturnahe Ökosysteme zu. In Siedlungen jedoch, insbesondere in Städten und industriellen Agglomerationen, sind die naturgesetzlichen Abläufe verändert. Es sind bis zum gewissen Grade künstliche Systeme. Auf sie läßt sich eher die weiter gefaßte Definition für den Begriff Ökosystem aus den „Nachrichten der Gesellschaft für Ökologie“ 1980 anwenden¹.

In Anlehnung an diese Definition bezeichne ich ein städtisches Ökosystem als ein Wirkungsgefüge aus Lebewesen, insbesondere gesellschaftlich organisierten Menschen, naturbedingten anthropogen mehr oder weniger veränderten abiotischen und technischen Bestandteilen, die untereinander und mit ihrer Umwelt in energetischen, stofflichen und informatorischen Wechselwirkungen stehen. Städtische Ökosysteme sind stofflich und energetisch nicht autonom, sondern auf Zusatzenergie sowie die Zufuhr von Rohstoffen und Nahrungsmitteln aus anderen Ökosystemen angewiesen. Andererseits erfordern die technische Energieerzeugung, die Verarbeitung von Rohstoffen und der Stoffwechsel in der Stadt eine künstliche Entsorgung, die nur teilweise auf der eigenen Fläche geleistet werden kann. Städtische Ökosysteme sind nicht mehr in der Lage, sich selbst zu regulieren, sondern bedürfen der fortwährenden menschlichen Steuerung.

Wozu Siedlungsökologie?

Aufgabe der Siedlungsökologie ist es, den Landschaftshaushalt auch im städtisch-industriellen Siedlungsbereich funktionsfähig zu erhalten, um so die ständige Bereitstellung der lebensnotwendigen Umweltgüter für die Menschen zu gewährleisten. Im Zeitalter weltweiter Urbanisierung bedürfen die Umweltbedingungen in den Städten systematischer Untersuchung und ständiger Überwachung. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen müssen umgesetzt werden in eine ökologische Überlegungen einbeziehende Planung. Für die Bundesrepublik Deutschland heißt das, auch bei der Bauleitplanung sind Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu berücksichtigen. Vor allem müssen in der Stadtplanung — und dies sollte auch für die Industrieansiedlungsplanung gelten — flächensparende Modelle entwickelt werden, um den weiterhin zu erwartenden hohen Verbrauch an freier Landschaft, der 1989 in der Bundesrepublik Deutschland auf 140 ha täglich angestiegen ist, einzudämmen.

Im Bundesnaturschutzgesetz sollte festgelegt werden, daß eine Umweltverträglichkeitsprüfung Verfahrensbestandteil der Bauleitplanung wird und diese UVP, analog der Grünordnungsplanung, vorzuschalten ist. Bezugspunkt aller stadtökologischen Überlegungen sollte der Mensch und ihr Ziel die Verbesserung seiner Lebensbedingungen sein. Neben der Herstellung gesunder Lebensbedingungen heißt das, der angestrebte Biotopschutz im Siedlungsbereich soll nicht nur dem reinen Naturschutz dienen, sondern vor allem auch den in den Städten lebenden Menschen Begegnungsmöglichkeiten mit der Natur bieten.

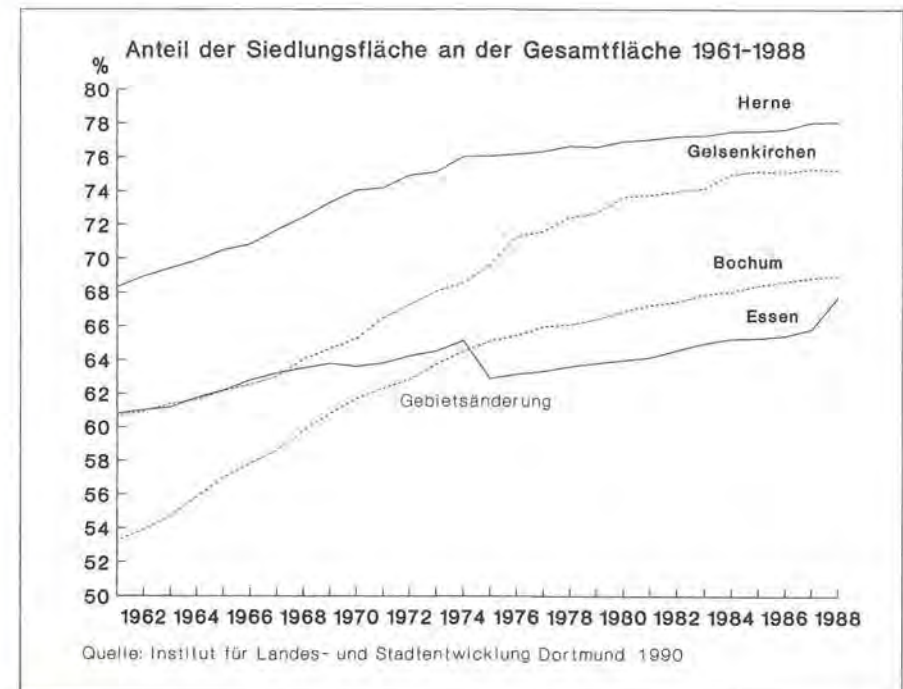
ZUR SITUATION DES RUHRGEBIETES

In den Grenzen des Kommunalverbandes Ruhrgebiet², des größten industriellen Ballungsraumes Europas, lebten 1987 5,256 Millionen Menschen auf 4433 qkm Fläche; das bedeutet eine mittlere Einwohnerdichte von 1167 Einwohnern pro qkm. Bezogen auf das Bundesgebiet vor dem 3. 10. 1990 sind das 8,59 Prozent der Bundesbürger auf nur 1,78 Prozent des Staatsgebietes (4). Die Flächennutzung im 4433 qkm großen Verbandsgebiet des Kommunalverbandes Ruhrgebiet verteilte sich 1988 wie folgt: Gebäude- und Hofflächen, Hofräume 20,1 Prozent, öffentliche Straßen, Wege und Plätze 7,5 Prozent, Waldfläche 17,0 Prozent, landwirtschaftlich genutzte Fläche 44,6 Prozent, Flächen sonstiger Nutzung 10,8 Prozent. Hieraus geht hervor, daß bei 27,6 Prozent der Verbandsfläche mit einem sehr hohen Versiegelungsgrad des Bodens zu rechnen ist (Gebäude- und Hofflächen, Hofräume sowie öffentliche Straßen und Plätze).

In Nordrhein-Westfalen hat der Anteil der Siedlungsfläche³ an der Gesamtfläche von 14 Prozent im Jahre 1961 auf fast 22 Prozent im Jahre 1989 zugenommen. Dieser starken Zunahme der Siedlungsfläche stand bis in die zweite Hälfte des Jahres 1989 eine stagnierende bzw. sogar leicht rückläufige Bevölkerungszahl und eine Abnahme der Erwerbstätigen gegenüber.

Hinter diesen Zahlenrelationen verbirgt sich ein außerordentlicher Landnutzungswandel, der umgangssprachlich auch als „Landschaftsverbrauch“ bezeichnet

Abb. 1



net wird. Landschaft läßt sich aber nicht „verbrauchen“, sondern nur durch ihre Nutzungsweise verändern. Hieraus ergeben sich jedoch ökosystemare Konsequenzen, die — wenn überhaupt — nur für einige Kompartimente hinreichend bekannt sind und sich in ihrer Gesamtwirkung allenfalls grob abschätzen lassen.

Dieser Landnutzungswandel hat sich im Ruhrgebiet verstärkt vollzogen, wie Abbildung 1 am Beispiel der Städte Herne, Gelsenkirchen, Bochum und Essen zeigt. Der landesweite Trend einer Zunahme der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche der Kommunen hat sich hier noch verstärkt. So beträgt die Siedlungsfläche in der Stadt Herne heute zirka 80 Prozent, wobei die Bodenversiegelung in den vergangenen Jahren ständig zugenommen hat. Hierdurch wird auch verdeutlicht, daß es vor allem die Großstädte und urban-industriellen Ballungsgebiete waren, in denen während der vergangenen 20 Jahre der Verstädterungsprozeß beschleunigt abgelaufen ist, und das wird sich auch in der Zukunft fortsetzen.

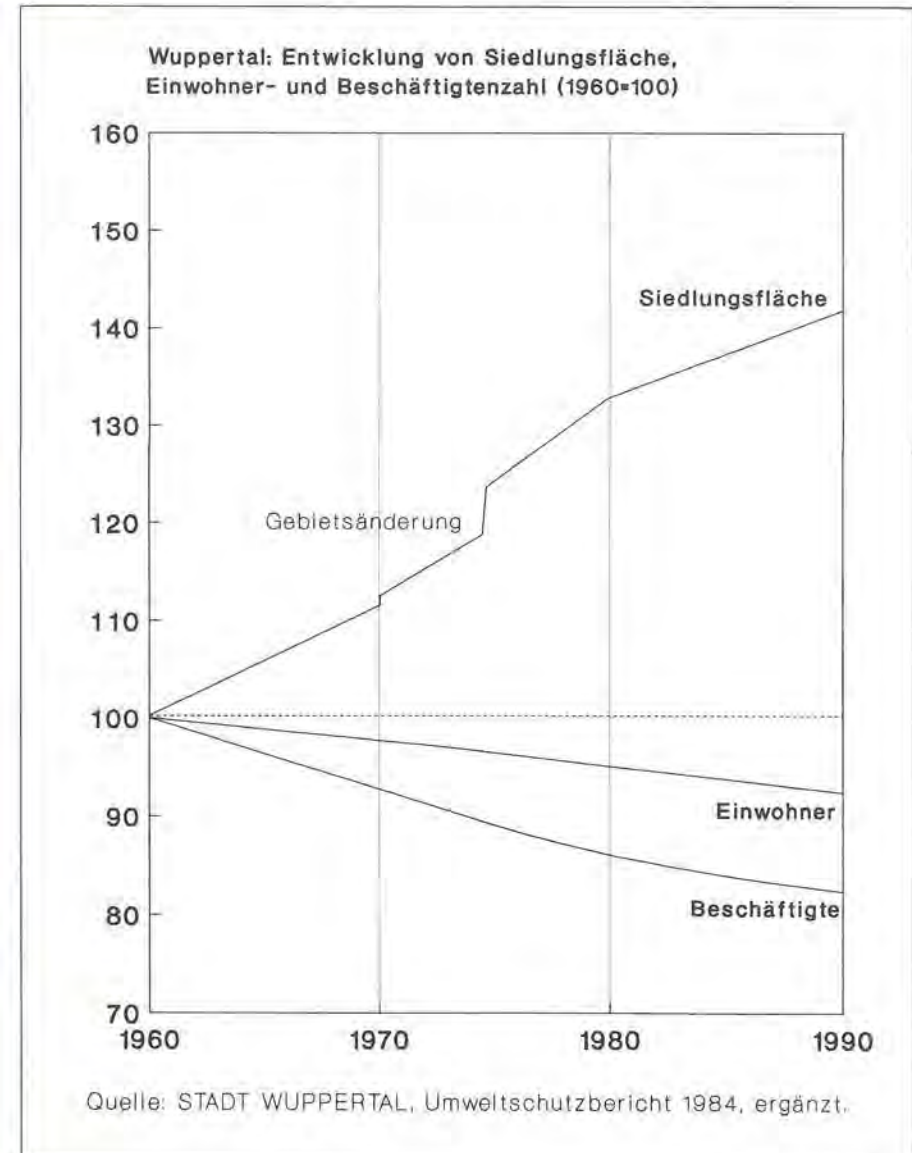
Die Stadt Wuppertal liegt zwar außerhalb des Verbandsgebietes des Kommunalverbandes Ruhrgebiet, dennoch ist ihre Entwicklungsgeschichte in gewisser Weise mit der des Ruhrgebietes zu vergleichen. Die Steigerungsraten im Bevölkerungszuwachs und in der Siedlungsfläche liegen auch hier deutlich über dem Durchschnitt des Bundesgebietes. Im Unterschied zu Essen hat die kommunale Neugliederung des Jahres 1976 einen deutlichen Anstieg der Siedlungsfläche mit sich gebracht (vgl. Abb. 2a). Aus der Grafik über die Veränderungen in der Flächennutzung zwischen 1927 und 1985 geht hervor, daß mit dem durchschnittlichen Anstieg der Siedlungsfläche ein fast exponentielles Wachstum der Gebäude-, Hof- und Verkehrsflächen und das heißt zugleich der versiegelten Flächen verbunden ist (vgl. Abb. 2b) Bis zu Beginn der 50er Jahre ist diese Siedlungsentwicklung verknüpft mit einer überdurchschnittlichen Bevölkerungszunahme hauptsächlich durch Wanderungsgewinne. Ab 1960 etwa hat sich dieser Trend aber umgekehrt, was auch kennzeichnend für die Städte des Ruhrgebietes ist (vgl. Abb. 2a). Als Folge des Niedergangs des Steinkohlenbergbaus und der Schwerindustrie haben fast alle Mitgliedsstädte des Kommunalverbandes Ruhrgebiet zwischen 1970 und 1987 Bevölkerung verloren. Am einschneidendsten war die Bevölkerungsabnahme bei den Städten Herne (— 14%), Duisburg (— 16%) und Gelsenkirchen (— 16%).

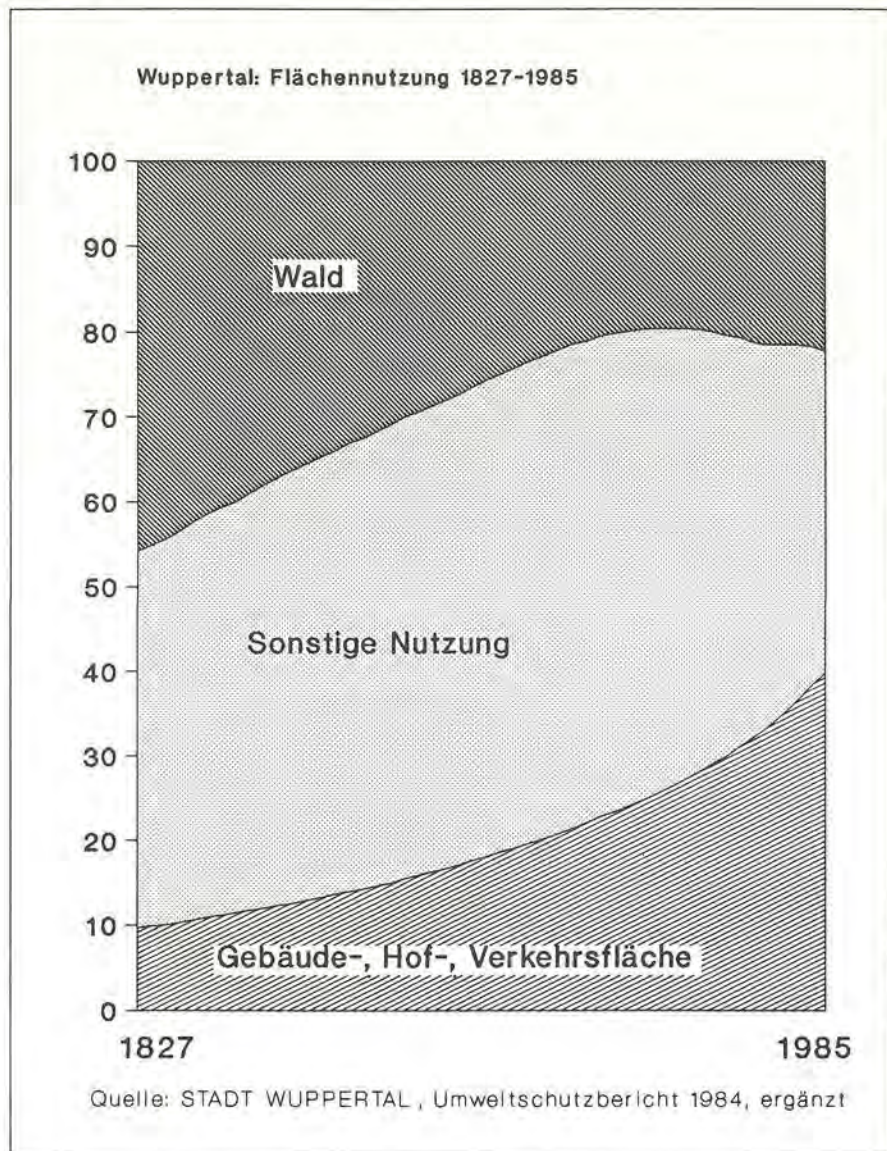
Nicht zuletzt dieser Zahlenvergleich läßt erahnen, daß trotz Abnahme des Bevölkerungsdrucks in den letzten 30 Jahren so nachhaltig in den Naturhaushalt eingegriffen worden ist wie kaum vorher in der Kulturlandschaftsgeschichte dieses bereits frühgeschichtlich besiedelten Raumes. Das Ruhrgebiet ist ein altes Industriegebiet, das sich derzeit in einem lebhaften strukturellen Wandel befindet. Dieser wirtschaftliche Wandlungsprozeß kann nur dann als erfolgreich bezeichnet werden, wenn das Ruhrgebiet wieder so attraktiv als Lebensraum wird, daß auch Menschen von außerhalb zuziehen. Um dies zu erreichen, ist es unter anderem nötig, die Umweltqualität so zu verbessern, daß das negative Erscheinungsbild, welches das Revier als altes Bergbau- und Schwerindustriegebiet bei der Bevölkerung vor allem außerhalb des Ruhrgebietes immer noch besitzt, überwunden wird.

Zur Verbesserung der Umweltsituation kann eine ökologisch orientierte Planung und Gestaltung sowohl der freien Landschaft als auch des besiedelten Raumes beitragen. Am Lehrstuhl III (Physische Geographie, insbesondere

Geoökologie) des Geographischen Institutes der Ruhr-Universität Bochum bemühen wir uns seit mehreren Jahren, vor allem durch Diplomarbeiten und Dissertationen, Grundlagenkenntnisse für eine ökologisch ausgerichtete Planung im Ruhrgebiet zu erarbeiten. Einige Ergebnisse aus diesen Untersuchungen sollen hier vorgestellt werden. In der folgenden Darstellung wird nach den ökologisch relevanten Umweltkompartimenten Klima, Boden und Vegetation vorgegangen.

Abb. 2a





KLIMA UND LUFTBELASTUNG

Große Bedeutung für das Wohlbefinden der Menschen in den Städten hat das Klima. Daß sich das Stadtklima von den klimatischen Verhältnissen des Umlandes unterscheidet, ist eine seit Jahrzehnten bekannte Tatsache (5).

Ein Schlüsselkriterium für das Klima einer Städte- und Industrieregion bildet die Wärmeverteilung. Die städtischen und industriellen Wärmeinseln sind Aus-

druck der veränderten Energiebilanz, erhöhter thermischer Belastung der Luft und in der Regel auch erhöhter Luftverunreinigungen. Neben verschiedenen Einzeluntersuchungen über die thermischen Eigenschaften von Städten des Ruhrgebietes (6) und Wärmebildern liegt neuerdings für den gesamten Bereich des Kommunalverbandes Ruhrgebiet eine Aufnahme des Wärme- oder „Wuchsklimas“ auf pflanzenphänologischer Basis von K.-F. SCHREIBER und Mitarbeitern vor (7).

Mit der „Wuchsklimakarte des Ruhrgebietes und angrenzender Bereiche“ wird das ökologisch bedeutsame Klimatelement Wärme auf der Grundlage der Jahresmittelwerte flächendeckend auf 14 Blättern dargestellt. Von den insgesamt 9 Wuchsklimastufen des Landes Nordrhein-Westfalen kommen im Ruhrgebiet immerhin 6 vor. Sie reichen von der Stufe „sehr kühl“ (6,5—7,5° C Jahresmitteltemperatur), die nur im Bergland im Süden, und hier in besonders kaltluftgefährdeten Tälern und an schattseitigen Hängen auftritt, bis „sehr mild“ (9,5—10,5° C Jahresmitteltemperatur), womit die Wärmeinseln der dicht bebauten Innenstädte und einiger großer Hüttenwerke gekennzeichnet sind. Innerhalb des Ruhrgebietes treten damit Unterschiede der Jahresmitteltemperatur von 4° K auf.

Im Temperaturbereich von 7,5° bis 9,5° C, der im Ruhrgebiet hauptsächlich vertreten ist, repräsentieren die kartographisch dargestellten Wuchsklimastufen Unterschiede der Jahresmitteltemperatur von jeweils 0,5° K, darüber und darunter von 1° K. Das bedeutet für eine Mesoklima-Darstellung und den Maßstab 1:50 000 eine hohe Genauigkeit. Die Wuchsklimakarte erreicht damit einen Detaillierungsgrad, der sie für Planungszwecke verwendbar macht, insbesondere wenn vertiefende Untersuchungen angeschlossen werden.

Die von ELLENBERG (1954) (8) entwickelte Methode zur Erfassung des „Wärmeklimas“, die ursprünglich für den Landbau gedacht war, ermöglicht es, kürzestens im Verlauf einer Vegetationsperiode, längstens aber in 2—3 Jahren, mit Hilfe der phänologischen Entwicklung der Vegetation — das heißt der Wachstumsentwicklung vieler Pflanzenarten, im Ruhrgebiet wurden insgesamt 80 Arten herangezogen — die wuchsklimatische Gliederung auch großer Räume in mittel- bis großmaßstäbigen Karten wiederzugeben. K.-F. SCHREIBER hat die ELLENBERG'sche Methode verfeinert und legt mit der „Wuchsklimakarte des Ruhrgebietes“ erstmals ein Kartenwerk im Maßstab 1:50 000 für eine verstädterte Region vor.

Thermal-Luftbilder lassen bei entsprechendem Maßstab zwar ein noch größeres Auflösungsvermögen zu, aber sie sind stets nur Momentaufnahmen. Außerdem besteht bei ihnen das Problem der Umsetzung der durch das Bild erfaßten Oberflächentemperaturen in Lufttemperaturen. Die Vegetation dagegen bringt Wärmesummen der Luft- und Bodentemperaturen zum Ausdruck.

Große Bedeutung für eine ökologisch orientierte Planung haben angewandte Klimakarten, wie sie für Ruhrgebietsstädte mit den „Synthetischen Klimafunktionskarten“ entwickelt worden sind. Ein erstes, noch wenig detailliertes Beispiel haben für die Stadt Recklinghausen SCHREIBER u. KUTTLER (1984) veröffentlicht (9). Dabei werden folgende Gesichtspunkte berücksichtigt:

1. Ermittlung und Abgrenzung der überwärmten Flächen im Stadtgebiet;

2. Nachweis der Kaltluft bzw. Frischluft produzierenden Gebiete im Stadt- und Stadtrandbereich und
3. Auffinden der Kaltluft- bzw. Frischluftbahnen durch die ein Luftaustausch stattfinden kann.

Beim Luftaustausch gehen die Autoren von der Überlegung aus, daß die vornehmlich bebauten Flächen eigene Thermik unter bestimmten Bedingungen als luftreinigender Prozeß verstanden werden kann. Das ist der Fall, wenn im Austausch für die über städtischen Wärmeinseln aufsteigende Luft kühlere Frischluft vom Stadtrand nachgesogen wird. Um diesen Prozeß nicht zu stören, dürfen in den Quellgebieten der Kaltluft und in den Kaltluftbahnen keine Luftverunreiniger angesiedelt werden. Die Erhebungsgrundlage für eine derartige Klimafunktionskarte bilden neben Thermalaufnahmen stabile Meßstationen sowie Meßfahrten bei windschwachen Strahlungswetterlagen.

Einen wesentlich höheren Detaillierungsgrad erreicht die „Synthetische Klimafunktionskarte der Stadt Dortmund“ von P. STOCK, W. BECKRÖGE, C. KIESE, W. KUTTLER und H. LÜFTNER (1986) (10). Eine etwas vereinfachte Wiedergabe der Klimafunktionskarte von Dortmund ist inzwischen im Diercke Weltatlas, Auflage 1988, S. 47 (III) erschienen. Auch hier ist das Datenmaterial teils Thermalbildern entnommen, und teils stammt es von mobilen und stationären Messungen. Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windfeld wurden dabei gründlich analysiert. Durch Radiosondenaufstiege und Fesselballonsondierungen wurden bei Hochdruck- und Hochdruckrandlagen über dem Innenstadtbereich starke turbulente Luftbewegungen als Folge der Thermik nachgewiesen. Das sich über der Innenstadt ausbildende lokale Tief erzeugt danach eine als „Flurwind“ bezeichnete Windkonvergenz, die unter den bereits beim Beispiel Recklinghausen genannten Bedingungen einer Reinluftzufuhr als luftreinigender Prozeß aufgefaßt werden kann. Die Luftaustauschvorgänge werden durch die unterschiedliche Bodenrauigkeit beeinflusst. So führen Baukörper in den Leitbahnen der Frischluft unter Umständen zu einem Kaltluftstau, zu einer Reduzierung der Windgeschwindigkeit und insgesamt zu einer Veränderung des Windfeldes.

In der Synthetischen Klimafunktionskarte von Dortmund wird das gesamte Stadtgebiet unter klimatologischen und lufthygienischen Gesichtspunkten gegliedert. Maßgebend für die Gliederung sind das Relief und die reale Flächennutzung, das heißt im bebauten Bereich die Stadtstrukturtypen. Differenzierend wirken dabei die Dichte der Bebauung und der Grad der Bodenversiegelung. Beispielsweise werden unterschieden: das „Parkklima“ und das „Klima locker bebauter Villenviertel“, das bei Vorhandensein eines alten Baumbestandes und ausgedehnter Rasenflächen dem Parkklima nahe kommt. Im Unterschied zu den Parks ist jedoch eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit zu verzeichnen. Auch beobachtet man insbesondere auf den Wärmebildern der Tagessituation eine feingegliederte Temperaturverteilung, die so in den Parks und im Freiland nicht besteht: Heiße Dachflächen kontrastieren in den Villenvierteln mit kühlen Baumkronen. Andererseits ist während der Nacht ein großer Anteil von hohen Bäumen der Grund für relativ geringe Abkühlung.

Das Stadtklima im engeren Sinne wird vom „Innenstadtklima“ und vom „Cityklima“ repräsentiert. Das Innenstadtklima ist durch eine starke Veränderung der Strahlungsbilanz und durch extreme Überwärmung gekennzeichnet,

wozu in der Innenstadt und besonders in der City sowie im Bereich von Industrieanlagen (Hüttenwerken) Abwärmeemissionen beitragen. Auch das Windfeld unterliegt durch die dichte Bebauung erheblichen Veränderungen. Die Windgeschwindigkeit ist stark reduziert, Luftaustauschprozesse werden bei windschwachen Wetterlagen hauptsächlich durch die nächtliche Thermik hervorgerufen. Lokal treten besonders am Fuße von hohen Gebäuden Luftwirbel und in Straßenschluchten Düseneffekte auf. Starke Bodenversiegelung und nur an wenigen Stellen stattfindende Transpiration durch Pflanzen haben oft eine herabgesetzte Luftfeuchte zur Folge. Die Besonderheiten des Stadtklimas machen sich vor allem im Tagesgang der Lufttemperatur bemerkbar. So wurden am 22. 8. 84 des nachts in der Dortmunder Innenstadt Lufttemperaturen gemessen, die bis 7° K höher lagen als über den Freiflächen des Umlandes. Demgegenüber unterscheiden sich die Temperaturen am Tage nicht wesentlich von denen des Umlandes, ja, bei Strahlungswetterlagen sind sie vor allem im Innenstadtbereich in den Morgen- und frühen Vormittagsstunden in der Regel tiefer als im umgebenden Freiland. Die Monatsmittel können im Juli und August bis 4° K positive Abweichung erreichen. Die starke Überwärmung der Innenstadt ist verbunden mit höherer Luftschadstoff- und punktuell auch Lärmbelastung.

Als Gebiete mit „speziellen Klimafunktionen“ werden in der synthetischen Klimafunktionskarte von Dortmund ausgewiesen:

- Windfeldveränderungen,
- Gebiete mit Filterfunktion,
- klimatische Ausgleichsflächen,
- klimatisch besonders belastete Gebiete,
- Gebiete mit hoher Abwärmeemission,
- Luftleitbahnen.

Bei den Luftleitbahnen werden unterschieden:

- Kaltluftabflußbahnen,
- Gebiete mit starkem Kaltluftabfluß,
- unbelastete Luftleitbahnen und
- belastete Luftleitbahnen.

Lufthygiene

Trotz des Wandels der Industriestruktur zählt das Ruhrgebiet immer noch zu den am stärksten mit Luftschadstoffen belasteten Regionen der Bundesrepublik Deutschland. Aussagen über Emissionen, Immissionen und Zielvorgaben für die Luftreinhaltung enthalten die Luftreinhaltungspläne für das Rhein-Ruhr-Gebiet (11), die seit 1976 vom Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen herausgegeben werden. Das gesamte Belastungsgebiet Rhein-Ruhr ist darin in fünf Gebiete unterteilt: Rheinschiene Süd (Köln), Rheinschiene Mitte (Düsseldorf), Ruhrgebiet West (Duisburg), Ruhrgebiet Mitte (Essen, Bochum, Recklinghausen) und Ruhrgebiet Ost (Dortmund). Die Luftreinhaltungspläne dienen dem Zweck, eine bessere Anwendung der gesetzlichen Bestimmungen auf die Belastungsgebiete zu erreichen.

Die Luftreinhaltepläne enthalten:

- Emissionskataster und Immissionskataster jeweils auf der Grundlage von 1-km-Quadratrastern
- Wirkungsanalyse Beurteilungsflächen, teils 4-km-, teils 1-km-Quadrataster
- Ursachenanalyse
- Prognose über die künftige Entwicklung der Luftverunreinigungen
- Maßnahmen zur Reduzierung der Luftschadstoffe.

Die Immissionssituation im Rhein-Ruhrgebiet wird durch die für die fünf Belastungsgebiete errechneten Jahresmittelwerte der Spurenstoffkonzentrationen (LIS 1987) in Tabelle 1 wiedergegeben. Außerdem sind darin die Werte der am niedrigsten (Min) und der am höchsten (Max) belasteten Stationen angegeben. Danach läßt sich für das Ruhrgebiet ($67-74 \mu\text{g}/\text{m}^3$) eine immer noch etwas höhere mittlere SO_2 -Belastung feststellen als für das Gebiet der sogenannten Rheinschiene ($55-60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Beim NO_2 hingegen wurden für das westliche und mittlere Ruhrgebiet Durchschnittswerte von $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, während die Werte für die Rheinschiene mit $53-55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geringfügig höher lagen. Die in den letzten Jahren angestiegenen Ozonkonzentrationen bewegen sich zwischen $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ruhrgebiet Ost) und $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rheinschiene Mitte). Vergleichbar hohe Konzentrationen ließen sich für Kohlenmonoxid mit $1,2$ bzw. $1,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ in allen Belastungsräumen nachweisen.

Kurzfristig treten hohe Immissionskonzentrationen bei austauscharmen Wetterlagen auf, wie auch die Smogereignisse der vorangegangenen Winterhalbjahre gezeigt haben. Eine Analyse der Konzentrationen für SO_2 und NO_2 , aufgeteilt nach Inversions- und Nichtinversionstagen für eine hochbelastete Stadtstation des Ruhrgebietes hat nach KUTTLER (1988) ergeben, daß die Immissionskonzentrationen an Inversionstagen um den Faktor 2,1 (SO_2) bzw. 2,2 (NO_x) höher liegen können als an Nichtinversionstagen (12). Weiterhin hat sich gezeigt, daß für die meisten Jahresmittelwerte die Verhältnisse im Winterhalbjahr die maßgebliche Rolle spielen.

Dennoch weisen die Jahresmittelwerte der meisten Spurenstoffe in der Atmosphäre für das Ruhrgebiet seit Jahren einen sinkenden Trend auf. So wurde laut Mitteilungen der Landesanstalt für Immissionsschutz (LIS) Nordrhein-Westfalen im Jahre 1988 der niedrigste Jahresdurchschnittswert der SO_2 -Belastung seit Beginn der Messungen registriert (TEMES-Jahresbericht 1988). Der Jahresmittelwert für Schwefeldioxid über alle Belastungsgebiete betrug 1988 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das sind rund 16 Prozent des Ausgangswertes im Jahre 1964, und 1989 ist dieser Wert nochmals gesunken.

Als Beleg für die seit Jahren sinkende Tendenz der meisten atmosphärischen Immissionswerte im Ruhrgebiet seien wichtige Kenngrößen aus dem Bereich des Gewerbeaufsichtsamtes Dortmund angeführt, zu dem außer Dortmund die Industriestädte Bochum und Herne gehören (vgl. Tab. 2a, b) Ähnlich sinkende Trends werden in den Gebieten der übrigen Gewerbeaufsichtsämter (Essen, Duisburg, Recklinghausen) verzeichnet.

Einen ziemlich gleichbleibenden, an manchen Stationen sogar etwas anstei-

Tab. 1: Jahresmittelwerte 1985 verschiedener Spurenstoffkonzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in fünf Belastungsgebieten (vgl. Luftreinhaltepläne) Nordrhein-Westfalens. Die Minima und Maxima geben jeweils die Werte einer niedrigst- bzw. höchstbelasteten Station des betreffenden Belastungsgebietes an.

	SO_2		SST*		NO_2		NO		O_3		CO	
	Ø	Min Max	Ø	Min Max	Ø	Min Max	Ø	Min Max	Ø	Min Max	Ø	Min Max
Rheinschiene Süd	55	39 61	56	50 62	53	48 61	56	43 78	20	19 21	1200	1200 1300
Rheinschiene Mitte	60	56 80	61	55 66	55	50 61	54	36 87	26	—	1200	1000 1400
Ruhrgebiet West	67	46 93	66	56 79	51	39 62	37	23 55	23	23 24	1200	1000 1300
Ruhrgebiet Mitte	74	62 94	67	59 76	51	45 56	40	30 58	24	23 24	1200	700 1400
Ruhrgebiet Ost	70	55 95	64	58 74	54	46 62	43	31 55	17	—	1300	1200 1400

Quelle: KUTTLER 1988 nach LIS 1987.

* SST = Schwelbstaub

Tab. 2a: Jahresmittelwerte der Halbstundenwerte 1989 (I₁-Werte) in Dortmund, Bochum und Herne.
(TEMES-Monatsbericht Januar 1990, Schriftenreihe der LIS, Essen)

		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	% ¹	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
DO	SO ₂	51,5		60		59		68		47,5		47	34	27	19	24,6	17,6
	NO ₂	50,5		—		49		58		52		46,6	58	41,3	52	46	57,5
	Schwebstaub	83,5		67		70		74		61		75	50	62,6	42	71,6	48
BO	SO ₂	62		56		60		70		50		49	35	27	19	24	17
	NO ₂	51		43		45		50		47		47	59	40	50	45	56
	Schwebstaub	—		—		58		63		61		69	46	54	36	61	41
HER	SO ₂	72		66		71		78		64		63	45	33	24	31	22
	NO ₂	58		51		51		53		56		57	71	46	57,5	50	62,5
	Schwebstaub	—		61		57		66		59		77	51	61	41	68	45

1 Belastung bezogen auf Grenzwert (SO₂ = 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; NO₂ = 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Schwebstaub = 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tab. 2b: Jahresmittelwerte der Schwermetall-Immissionsbelastung für Blei und Cadmium im Schwebstaub

	Entwicklung der Immissionsbelastung bezogen auf Grenzwerte															
	1986		1987		1988		86/88		87/88		1986		1987		1988	
	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Do	0,29	0,003	0,27	0,003	0,20	0,0034	— 32	+ 2	— 26	+ 2	15	8,5	13,5	8,5	10	8,7
Bo	0,22	0,002	0,20	0,002	0,16	0,0016	— 27	— 20	— 20	— 20	11	5	10	5	8	4
HER	0,22	0,002	0,21	0,002	0,16	0,0019	— 27	— 5	— 24	— 5	11	5	10,5	5	8	4,8
Ruhrgebiet	0,24	0,003	0,24	0,002	0,18	0,0024	— 25	— 20	— 25	— 20	12	7,5	12	5	9	6

Grenzwert Pb: 2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Cd: 40,0 ng/m^3 bzw.
0,040 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Quellen: Heft 67/1989 der Schriftenreihe der LIS in Essen

— Bericht über die Ergebnisse der in NRW 1988 durchgeführten Staub- und Schwermetallniederschlagsmessungen

genden Trend weisen im Ruhrgebiet — ähnlich wie im übrigen Bundesgebiet — die Stickoxide auf. Die Hauptquelle für die in unseren Breiten zu 95 Prozent anthropogen bedingten Stickoxide in der Atmosphäre sind heute die Abgase des ständig gestiegenen Kraftfahrzeugverkehrs. Eine steigende Tendenz haben auch die Ozonwerte, wobei die hohen Werte typischerweise von Meßstationen an der Peripherie der sonst belasteten Ballungsgebiete registriert werden (TEMES-Jahresbericht 1988). Das Ozon wird vor allem im Sommer bei hoher Sonneneinstrahlung durch photochemische Oxidationsprozesse, die vor allem im Lee der Ballungsgebiete stattfinden, gebildet. Dazu ist wegen der Kinetik der photochemischen Reaktionen und der notwendigen Vorläuferstoffe (Stickoxide, Kohlenwasserstoffe) eine gewisse Zeit nötig (13). Auch für die Vorläuferstoffe sind die Autoabgase die wichtigste Quelle. Wegen der schädlichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Pflanzen — so wird das über den Luftpfad direkt auf die Pflanzen einwirkende Ozon unter anderem für das Waldsterben mitverantwortlich gemacht — sind die erhöhten Ozonkonzentrationen eine sehr negativ zu beurteilende lufthygienische Komponente. Außerdem hat DREYHAUPT (1987) darauf hingewiesen, daß an einzelnen Stellen im Rhein-Ruhr-Gebiet hohe Konzentrationen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen sowie an polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF) — letztere bekannt unter dem Namen Dioxin — gemessen wurden (14).

Abgesehen von den zuletzt genannten Spurenstoffen haben sich jedoch die lufthygienischen Verhältnisse in den drei Belastungsgebieten des Ruhrgebietes insgesamt erheblich verbessert.

Auch bei insgesamt sinkendem Trend weisen die Werte für die SO_2 -Immissionen von Jahr zu Jahr Schwankungen auf. Dieses wechselnde Verhalten läßt sich dadurch erklären, daß die Stärke der SO_2 -Emissionen an die Heizungsintensität in den unterschiedlich kalten Wintern gekoppelt ist. Andererseits vermindert offensichtlich der zunehmende Einsatz von Fernheizwerken die durch den Hausbrand verursachte bodennahe SO_2 -Emission. Eine erheblich emissionsmindernde Wirkung hat auch der wachsende Einsatz von Erdgas in der Energieversorgung. Entscheidend ausgewirkt auf den Rückgang der SO_2 -Immissionen in den Jahren 1988 und 89 hat sich jedoch die vorher durchgeführte Rauchgasentschwefelung der Kraftwerke.

Die Tatsache, daß besonders während der Wintermonate eine relative Abnahme der SO_2 -Immissionen im Vergleich zu den Sommermonaten zu verzeichnen ist, wurde bereits in den vorangegangenen Jahren darauf zurückgeführt, daß durch die Erhöhung der Schornsteine auf 220—280 m die industriellen Emissionsquellen höher gelegt worden sind. Die Obergrenze der Mischungsschicht der Atmosphäre liegt während der Wintermonate mit 400—600 m tiefer als in den Sommermonaten, in denen sie sich zwischen 500—1500 m befindet. Infolgedessen breiten sich die Emissionen aus den Hochschornsteinen während der Wintermonate häufig oberhalb der Mischungsschichtobergrenze aus, was eine Verringerung der Immissionen am Boden nahe den Emissionsquellen zur Folge hat. Die Hochschornsteine tragen damit aber zu einem vermehrten Ferntransport von Emissionen bei und rufen eine erhöhte Belastung ehemaliger Reinluftgebiete hervor. So zeigen die Trends der SO_2 -Immissionen in vorher als unbelastet geltenden Gebieten ein uneinheitliches Bild (Umweltbundesamt 1982). Bei-

spiele hierfür bilden die bereits von KUTTLER (1986, 20) angeführten „Reinluftstationen“ Langenbrügge in der Lüneburger Heide, Deuselbach im Hunsrück, Brotjackriegel im Vorderen Bayerischen Wald und Westerland auf Sylt, die zwischen 1973 und 1981 alle einen steigenden Trend aufwiesen (15).

BIOINDIKATION

Eine deutliche Verbesserung der Luftqualität während der letzten Jahre, insbesondere im südlichen und mittleren Ruhrgebiet, — das sind die Städte Oberhausen, Mülheim/Ruhr, Essen, Gelsenkirchen, Bochum, Herne — hat sich auch aus stichprobenartigen Erhebungen des epiphytischen Flechtenbewuchses durch RABE u. WIEGEL (1985) ergeben (16). Im Vergleich zu den Befunden von DOMRÖS aus dem Jahre 1963 (17) zeigte sich, daß

1. die Artenzahl der Flechten im Untersuchungsgebiet wieder angestiegen ist,
2. in der ehemaligen Flechtenzone IV — dem am wenigsten belasteten südlichen Ruhrgebiet — heute wieder besonders immissionsempfindliche Blattflechten *Physica dubia* (HOFFM.), LETTAU, *Physica tenella* (SCOP.) D. C., *Xantheria parietina* (L) Th., Fr.) vorkommen,
3. sich in den ehemaligen Zonen I bis III — den inneren Kampfzonen — der Deckungsgrad der Flechten erhöht hat und
4. sich in der ehemals flechtenfreien Zone des mittleren Ruhrgebietes, der „Flechtenwüste“, durch Einwanderung wieder Krustenflechten, wie *Lecanora conizaeoides* NYL. ex CROMBIE, *Lecanora hageni* (ACH.) und *Lepraria incana* (L.) ACH., angesiedelt haben.

Eine Flechtenwüste, wie sie DOMRÖS 1963 im mittleren Ruhrgebiet vorgefunden hatte, gab es 1985 praktisch nicht mehr.

BODEN UND WASSER

Die Böden im Bereich von Städten und Industrieanlagen unterliegen starken Veränderungen. Durch Abgrabungen und Aufschüttungen werden gewachsene Bodenprofile beseitigt bzw. begraben, die Substrate der Bodenbildung in vielfältiger Weise vermischt und mit allerlei Kulturschutt verunreinigt. Groß sind außerdem die Veränderungen des Bodens durch stoffliche Einträge aus der Tätigkeit des Menschen. Unsicherheit besteht deshalb nach wie vor bei der Klassifikation von Stadtböden. Das zeigen unter anderem die Bodenkartierungen 1:25 000 in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen, wo die dicht bebauten Siedlungsflächen bei der Kartierung ausgespart wurden.

Die Vermengung von natürlichen und künstlichen Substraten für die Bodenbildung, die überall festzustellende Bodenverdichtung, die zumeist unterbunden natürlichen Stoffkreisläufe und die Vielfalt der stofflichen Einträge, die zusammen auch Veränderungen der Bodendynamik zur Folge haben, machen es erforderlich, daß eine Klassifikation der Siedlungsböden andere Kriterien be-

rücksichtigt, als sie beispielsweise in der Kartieranleitung der Arbeitsgemeinschaft Bodenkartierung (18) für die Bodenkartierung in der freien Landschaft genannt werden. Mit Ausnahme der anthromorphen Böden (Hortisole, Plaggenesch) stützt sich die zuletzt genannte ausschließlich auf bodeneigene Merkmale. Eine Klassifikation der Böden für den städtisch-industriellen Bereich sollte dagegen mehr von ökosystemaren Gesichtspunkten ausgehen und neben den Substraten vor allem die Nutzungsarten wie Wohnen, Verkehr, Freizeitaktivitäten, Gewerbe und Industrie — wegen der stofflichen Einträge bis zum gewissen Grade spezifiziert nach Branchen und Produktionen — berücksichtigen. Hiervon hängt die Form der Bodenbeanspruchung und die Art der stofflichen Einträge ab. Die Diversität der Böden im städtischen Bereich ist zumeist höher als in der freien Landschaft. Denn neben dem Substrat werden sie vor allem durch den Grad der menschlichen Beeinflussung geprägt, so zum Beispiel durch Abgrabung oder Überschüttung, Verdichtung und Versiegelung sowie stoffliche Einträge. Diese veränderten Einflüsse führen zu einer eigenen immanenten Bodenentwicklung im städtisch-industriellen Bereich. Ein auf den genannten Prinzipien aufgebautes Klassifikationssystem hat am Beispiel der Stadt Bochum P. REINIRKENS entwickelt (19).

Im Siedlungsbereich kommt es vor allem darauf an, daß die Bodenfunktionen erhalten bleiben. Bodenfunktionen sind Leistungen, die der Boden als Kompartiment der Ökosysteme für diese — und damit für den Menschen — erbringt. Im Stoffhaushalt der Ökosphäre erfüllen die Böden insgesamt folgende Funktionen (20):

1. Sie bilden die Basis des Lebensraumes von Pflanzen, Tieren und Menschen; der stoffliche Umsatz terrestrischer Ökosysteme vollzieht sich größtenteils über die Böden.
2. Sie bilden die Grundlage für die Produktion von Nahrungsmitteln, Futtermitteln und organischen Rohstoffen.
3. Sie sind Speicherraum für die von den Pflanzen benötigten Nährstoffe, für Niederschlagswasser und die Regulation des Landschaftswasserhaushaltes.
4. Sie bilden ein wirkungsvolles Filter-, Puffer- und Transformationssystem für die Grundwasserneubildung und -reinhaltung, für den Abbau oder die Bindung und Immobilisation immittierter Schadstoffe.
5. Außerdem werden Böden und Sedimente zur Abfall-Lagerung, Rohstoffgewinnung und als Baugrund genutzt.

Eine Beeinträchtigung der Bodenfunktionen im Siedlungsbereich bzw. eine Zerstörung der Böden findet statt durch:

Abtragung und Planierung, Verschüttung, Versiegelung und Überbauung, wobei der Boden im Zuge von Tiefbaumaßnahmen zumeist entfernt wird, ferner durch Eintrag von Schadstoffen und Abfall-Lagerung, Verdichtung und Verfestigung, wodurch vor allem der Wasser- und Lufthaushalt verändert wird.

Außerhalb der Siedlungen sind die Bodenfunktionen gefährdet durch: Natürliche und anthropogen beschleunigte Bodendegradation, zum Beispiel durch Versauerung, nicht fachgerechte Anwendung von Agrochemikalien, unsachgemäße Bodenbearbeitung und Bodennutzung sowie durch Bodenerosion.

Von den genannten Veränderungen bedeutet die Bodenversiegelung den nachhaltigsten Eingriff, besonders die ökologischen Funktionen des Bodens

werden hierdurch weitgehend unterbunden. Großflächige Bodenversiegelungen haben erhebliche Beeinträchtigungen des Systems Atmosphäre — Boden — Grundwasser zur Folge. Eine Übersicht über die ungefähre Bodenversiegelung bei verschiedenen städtischen Nutzungstypen bietet die Tabelle 3.

Als wichtige Konsequenzen einer Bodenversiegelung sind zu nennen:

- Abtragung des humosen Oberbodens
- Einschränkung der Sorptionsfähigkeit und damit der Filterwirkung
- Verminderung der Pufferkapazität
- Veränderung des Bodengefüges durch Verdichtung und fehlende Humusbildung
- Veränderung des Wärmehaushaltes
- Veränderung des Nährstoffhaushaltes
- Veränderung des Wasser-Luft-Haushaltes
- Beeinträchtigung der Grundwasserneubildung
- starke Verminderung des Bodenlebens, vor allem der mikrobiellen Aktivität des Bodens und damit starke Herabsetzung des Transformationsvermögens.

Da die Schadstoffe aus Luft und Wasser im festländischen Bereich stets im Boden enden, ist es wichtig, daß gerade die Böden im städtischen Siedlungsraum, in die erhöht Schadstoffe eingetragen werden, ihr Filter-, Puffer- und mikrobielles Transformationsvermögen behalten. Hiervon hängen der Schadstoffabbau und der Schutz des Grundwassers ab.

Der Grund- und Bodenwasserhaushalt unterliegt durch Versiegelung und Verdichtung tiefgreifenden Veränderungen. Sie wirken sich aus durch: Verminderung der Versickerungsraten, Vermehrung des Oberflächenabflusses und Verringerung der Grundwasserneubildung sowie Abnahme der Evapotranspiration (Gesamtverdunstung) als Folge der Umwandlung von Vegetationsflächen in Industrie-, Siedlungs-, Verkehrs- und sonstige städtische Nutzflächen.

Hinzu kommen Grundwasserabsenkungen und Wasserhaltungen bei Tiefbauten sowie die Zunahme des unterirdischen Abflusses durch verschiedenartige Entwässerungssysteme (z. B. Kanalisation, unterirdische Verkehrseinrichtungen und Tiefbaustellen).

Die Grundwasserneubildung wird durch Hochbauten und Verkehrsflächen am stärksten beeinflußt, denn sie bewirken versiegelte Flächen, die für die Versickerung weitgehend ausscheiden (21). Einen eindrucksvollen Vergleich der Grundwasserneubildung bei verschiedenen Flächennutzungen (Acker, Grünland, Nadelwald) und verschiedenen Baumaterialien für Verkehrsflächen hat WESSOLEK (1988) auf der Grundlage von Lysimeterergebnissen veröffentlicht (22). Danach ist festzuhalten, daß mit zunehmender Versiegelung mit herkömmlichen Materialien (Bitumen, Beton) die Grundwasserneubildung erheblich abnimmt.

Jedoch haben die Untersuchungen von WESSOLEK (1988) auch ergeben, daß die Versiegelungsmaterialien mit hohem Fugenanteil und einer Verdunstungssperrschicht (z. B. Kies) unter den Auflagen gleiche bzw. sogar höhere Grundwasserneubildung aufweisen können als bewachsene Freiflächen. Als Folge könnte sich bei stärkerer Verwendung solcher Materialien in Zukunft im Siedlungsbereich eine starke räumliche Differenzierung des Oberflächenabflusses und der Grundwasserneubildung ergeben.

Tab. 3: Versiegelungsgrad als physiognomisch-ökologisches Kriterium im Siedlungsbereich
(Versiegelung bei verschiedenen Nutzungstypen)

Versiegelung %*	Versiegelungsgrad	Physionomie	Städtische Nutzungstypen
0 — 20	gering	vegetationsbedeckt	Kleingartenanlagen, Parks
20 — 40	mäßig	überwiegend vegetationsbedeckt	Einzelhaus- und Zeilen- (Reihenhaus-)Bebauung
40 — 60	mittel	Vegetation tritt gegenüber Bebauung zurück	aufglockerte Randbebauung der Innenstädte
60 — 80	hoch	überwiegend bebaut	ältere Wohnblocks mit teils begrünten Innenhöfen, Gewerbeviertel
80 — 100	sehr hoch	flächenhaft bebaut	Citybereich, Parkplätze, Industrieviertel

* Als versiegelt werden Bodenflächen bezeichnet, die durch Bebauung eine Veränderung in ihrer Oberflächen-Durchlässigkeit und -Rauhigkeit erfahren haben (PLATE 1976)

Ein wichtiges indirektes Maß für die Versickerung im Boden sind die Abflußbeiwerte⁴. Der Abflußbeiwert ist eine Verhältniszahl aus Niederschlag und Oberflächenabfluß.

Im folgenden werden einige Abflußbeiwerte für verschiedene Oberflächen aufgeführt (z. T. nach KUTTLER 1985):⁵

Abflußbeiwerte für verschiedene Oberflächen

Typus der Oberfläche	Abflußbeiwert
Grünflächen in ebener Lage, z. B. Parks an Gewässern, Auenwälder und -wiesen	0
Kleingartenanlagen	0,05
Hausgärten	0,15
Spiel- und Sportplätze	0,25
Gepflasterte Höfe und Promenadenwege	0,5
Beton- und Asphaltflächen	0,9
Dachflächen mit < 15° Neigung	1

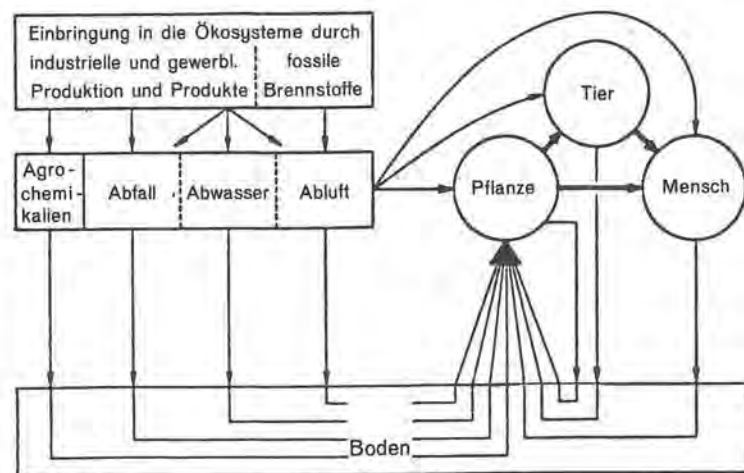
SCHWERMETALLE IM BODEN

Für eine Bodenschutzkonzeption, wie sie die Bundesregierung zur Zeit erarbeiten läßt, ist ein flächendeckendes Bodenkataster für bestimmte belastende Stoffgruppen wie Schwermetalle wichtig. Besondere Bedeutung kommt dabei der Ermittlung der Grundbelastung der Böden in den verschiedenen Landschaftsgebieten zu. Erst durch Vergleich mit der jeweiligen Grundbelastung lassen sich Spitzenwerte als solche erkennen. Auf die Grundbelastung sind dann Düngergaben, insbesondere durch kontaminierende Stoffe wie Klärschlamm, zu beziehen. Quellen für Schwermetalle und ihre Weitergabe in den Ökosystemen sind in Abbildung 3 dargestellt.

Norbert ERMELING hat eine Methode entwickelt, die es einer Kommune ermöglicht, in angemessener Zeit und mit relativ geringem Aufwand ein Bodenkataster für die Grundbelastung durch die wichtigsten Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink zu erstellen. Als wichtigste Faktoren, die Bindung und Mobilisation der Schwermetalle beeinflussen, waren der pH-Wert und der Calcium-Gehalt des Bodens, die Bodenart und die Humusform zu berücksichtigen (23).

Als Untersuchungsgebiet wurde die Stadt Castrop-Rauxel im Ostteil des mittleren Ruhrgebietes gewählt. Als einst bedeutende Bergbau- und Industriestadt liegt sie zudem im Einflußbereich starker Emittenten. Ein weiterer gewichtiger Grund für die Wahl von Castrop-Rauxel war die vergleichsweise starke Differenzierung der Böden im Stadtgebiet, das im Westteil der Westfälischen Kreidemulde liegt. Der nördliche Teil des Stadtgebietes erstreckt sich in die Emscher-

Abb. 3: Schwermetallwege in industriell bestimmten Ökosystemen



niederung, eine 2,5–3 km breite, teilweise als saaleiszeitliche Schmelzwasser-
rinne angelegte Talebene um 60 m NN Höhenlage. Die Substrate für die Boden-
bildung sind hier Talsande, außerdem überdeckt teilweise Auenlehm die sandigen
Flußablagerungen. Im Süden grenzt die stärker reliefierte Castroper Platte
an diese Niederung. In ihrem Bereich erstreckt sich ein SW–NE verlaufender,
bis auf 135 m NN ansteigender Höhenzug durch das südliche Stadtgebiet. Die
Platte besteht im Untergrund aus Kalk- und Mergelschichten der Oberkreide,
unter denen vor allem der Emschermergel (kro E) erwähnenswert ist. Darüber
liegen saaleiszeitliche Ablagerungen in meist geringer Mächtigkeit sowie die
„Castroper Höhenschotter“, die als altpleistozäne Ruhrschotter gedeutet wer-
den. Wesentlich für die Bodenbildung ist die 4–10 m mächtige weichselzeitliche
Lößdecke. Sie wird nordwärts gegen den durch Seitenbäche der Emscher zer-
rüttelten Plattenrand von Sandlöß abgelöst. Außerdem tritt zu beiden Seiten der
Emscherniederung an den Plattenrändern eine in Fetzen aufgelöste Flugsand-
decke auf. Im Bereich der Sandlöß- und Flugsandverbreitung reichen als zusätz-
liches, die Bodenbildung beeinflussendes Substrat Mergellinsen bis nahe unter
die Bodenoberfläche. Die Stadt Castrop-Rauxel liegt also auf der nördlichen
Lößgrenze der Hellwegbörden, in deren Westteil sich das südliche Ruhrgebiet
mit den Großstädten Dortmund, Bochum und Essen entwickelt hat.

Die vorkommenden Bodentypen sind Parabraunerden und Parabraunerde-
Pseudogleye im Bereich der Castroper Platte und ihres Randes. In der Emscher-
niederung sind mehr oder weniger grundwasserbeeinflusste Böden verbreitet,
hauptsächlich braune Aueböden mit Gleymerkmalen im Unterboden, aber auch
Podsole auf den Flug- und Talsanden.

Voruntersuchungen bestätigten, daß folgende Parameter Einfluß auf die
Schwermetallgehalte haben und deshalb bei einer Gruppenbildung zu berück-
sichtigen waren:

- Flächennutzung
- Bodenart und Bodentyp
- Humusgehalt und Humusform
- pH-Wert und Ca-Gehalt
- Gestein des oberflächennahen Untergrundes.

Nach der Flächennutzung wurden drei Gruppen unterschieden:

1. Waldstandorte W,
2. Ackerstandorte A,
3. Private und öffentliche Grünflächen, P und Ö, als Repräsentanten anthro-
pogen besonders stark beeinflusster Böden.

Zu den privaten Grünflächen wurden auch Klein- und Hausgärten gerechnet.
Abgesehen wurde von Innenstadtstandorten, insbesondere im Bereich von Auf-
schüttungen, von Haldenmaterial und typischen Industriestandorten, da hier
Extremwerte zu erwarten sind.

Um Grundgehalte zu ermitteln und lokale Spitzenwerte auszuschalten, wur-
den die beprobten Bodenstandorte möglichst repräsentativ über das Stadtgebiet
verteilt. Lokale Einflüsse, etwa aus Verkehr und Industrie, wurden versucht,
möglichst gering zu halten. Das läßt sich bereits dadurch erreichen, daß man die
Proben im zentralen Bereich der Flächen entnimmt. Um lokale Besonderheiten
zu unterdrücken, wurden Mischproben aus mindestens 10 Einschlägen auf einer
Fläche von 500 m² hergestellt. Zu Vergleichsmessungen wurden jeweils nach
einem halben Jahr erneut Proben entnommen.

Die Proben wurden im Labor einem Königswasseraufschluß⁶ unterzogen, um
die Metalle möglichst quantitativ in ihre Chloride zu überführen und dann als
Kationen mit einem Flammen-Atomabsorptionsspektrometer, kurz AAS ge-
nannt, bestimmt.

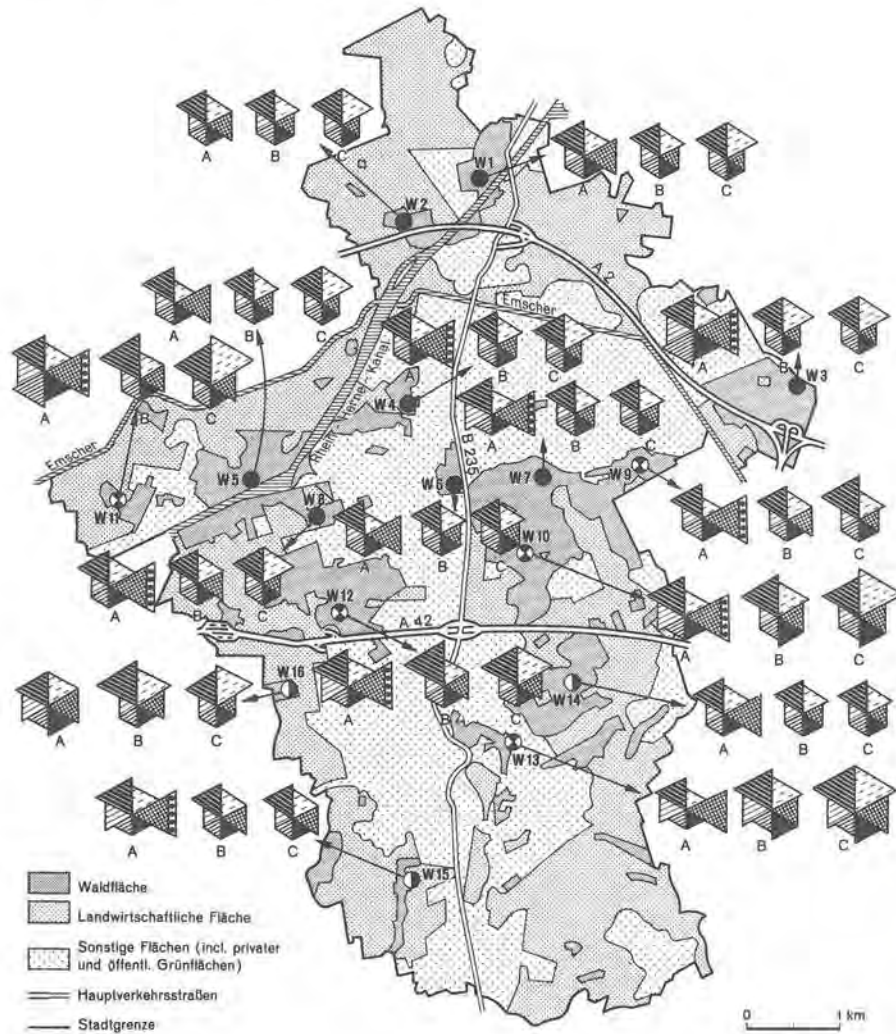
Die Ergebnisse:

In den Waldstandorten wurden an 16 Stellen Proben entnommen (vgl. Abb. 4).
Wegen des starken Einflusses von Humusgehalt, Bodenart und pH-Wert auf
Bindung bzw. Mobilisation von Schwermetallen (abgekürzt: SM) war es nötig,
die Proben nach Entnahmetiefen zu klassifizieren. Unterschieden wurden:

- Proben aus 0–20 cm Tiefe (A)
- Proben aus 40–60 cm Tiefe (B)
- Proben aus 80–100 cm Tiefe (C).

Bei den Böden aus Sand ergaben sich sehr hohe Schwermetallgehalte in den
oberen 20 cm der Profile, das heißt im Humushorizont (vgl. Abb. 5). Die
Schwermetallkationen sind hier hauptsächlich an die funktionellen Gruppen der
Huminstoff-Makromoleküle gebunden. Besonders fest ist das Blei gebunden.
Cadmium und Zink weisen dagegen eine höhere Mobilität auf, die sich bereits bei
verhältnismäßig geringen Erniedrigungen des pH-Wertes, das heißt durch Säure-
schübe, einstellt. So nimmt die Löslichkeit des hochtoxischen Cadmiums (Cd)
im Vergleich zu anderen Schwermetallen mit sinkendem pH-Wert erheblich
stärker zu. Recht fest an den Sorptionsträgern des Bodens ist hingegen das Blei
(Pb) gebunden. Nach HERMS u. BRÜMMER (1980; 1984) nimmt der Einfluß

Abb. 4: Stadtgebiet Castrop-Rauxel: pH-Werte, Pb-, Cd-, Cu- und Zn-Gehalte in den Waldflächen



Legende zu Abbildung 4

Blei (Pb)					
Symbol					
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100
Wert in ppm	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100

Cadmium (Cd)					
Symbol					
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	
Wert in ppm	0-0,75	0,76-1,5	1,51-2,25	2,26-3	

Kupfer (Cu)					
Symbol					
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	
Wert in ppm	0-25	26-50	51-75	76-100	

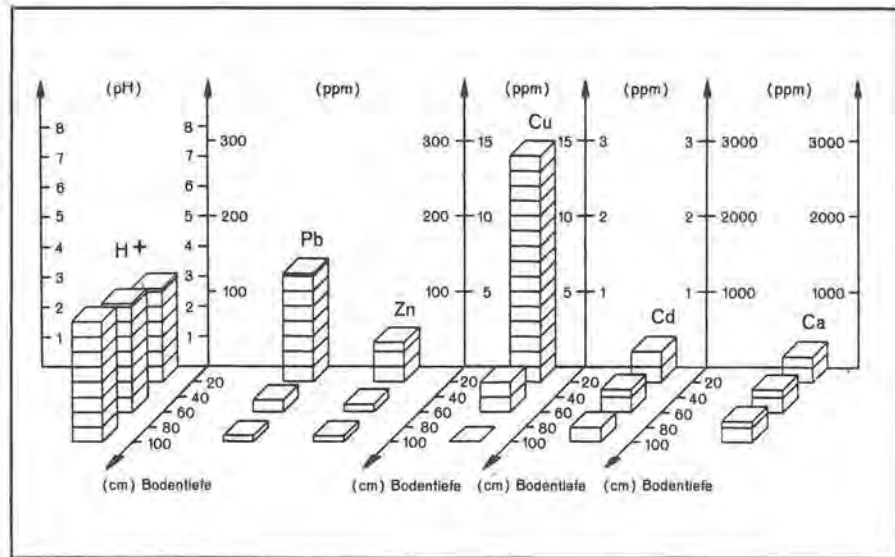
Zink (Zn)					
Symbol					
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100
Wert in ppm	0-75	76-150	151-225	226-300	> 300

Calcium (Ca)					
Symbol					
log der Ca - Konzentration	0-1	1,1-2	2,1-3	3,1-4	4,1-5

pH-Wert					
Symbol					
pH-Wert	≤ 3	3,1-4	4,1-5	5,1-6	6,1-7
					> 7

- Waldstandorte auf Sanden
- ⊗ Waldstandorte auf Mergeln
- ⊙ Waldstandorte auf Löß
- Ackerstandorte
- Standorte auf privaten und öffentl. Grünflächen
- W Waldstandortsignatur
- A Ackerstandortsignatur
- P/Ö Signatur für private und öffentl. Grünflächen
- Signaturen für die Probenentnahmetiefen
- A = 0-20 cm
- B = 40-60 cm
- C = 80-100 cm

Abb. 5: Mittelwerte der Waldstandorte mit sandigen Böden (W1 bis W8) für die Schwermetallgehalte von Blei (Pb), Zink (Zn), Kupfer (Cu) und Cadmium (Cd), außerdem für die Ca-Gehalte und pH-Werte



der Bodenreaktion auf die Löslichkeit von Schwermetallen in der Reihenfolge $Cd > Zn > Ni > Cu > Pb$ ab (24).

In den tiefen Bodenhorizonten (40–60 cm und 80–100 cm) sinken die SM-Gehalte bei den Sandböden kontinuierlich und stark ab. Wegen der vorherrschenden Bodenart Sand stehen hier nur wenig Sorptionsplätze zur Verfügung. Infolge des geringen Ca-Gehaltes sind auch die pH-Werte niedrig: Sie liegen unter Wald zwischen pH 3,2 und 4, was eine starke Mobilisation der meisten Schwermetalle zur Folge hat. Die Filterkapazität von Sandböden ist mithin gering. Zwar weist die Humusschicht hohe SM-Gehalte auf, aber die Sorptionsfähigkeit der tieferen Bodenhorizonte ist sehr gering. Bei diesen Böden findet eine erhebliche Verlagerung von Schwermetallen ins Grundwasser statt.

Eine andere Wertevertelung zeigen die vom Emschermergel beeinflussten Böden (vgl. Abb. 6). Zwar weisen auch hier die Humushorizonte hohe SM-Gehalte auf, aber auch in den tieferen Horizonten sind die Werte höher als bei den tiefgründigen Sandböden. Ja, die Werte für Pb und Cd steigen von 40–60 cm zu 80–100 cm Tiefe sogar an, das Zn nimmt nur geringfügig ab, und die Werte für Cu bleiben gleich. Erklären läßt sich diese verringerte Mobilität der meisten Schwermetalle mit der Zunahme des Ca-Gehaltes im Unterboden, wodurch auch die pH-Werte ansteigen. Verantwortlich hierfür ist der Emschermergel.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die schluffigen bis tonigen Lehm Böden im Auebereich der Emscherniederung sowie die zur Hellwegbörde gehörenden Böden aus Löß im Süden des Stadtgebietes (vgl. Abb. 7). Auch sie weisen gegenüber den Sandböden erhöhte SM-Gehalte in den unteren Abschnitten der Profile auf,

Abb. 6: Mittelwerte der Waldstandorte mit Böden auf Emschermergel (W9 bis W13) für die Schwermetallgehalte von Pb, Zn, Cu und Cd, außerdem die Ca-Gehalte und pH-Werte

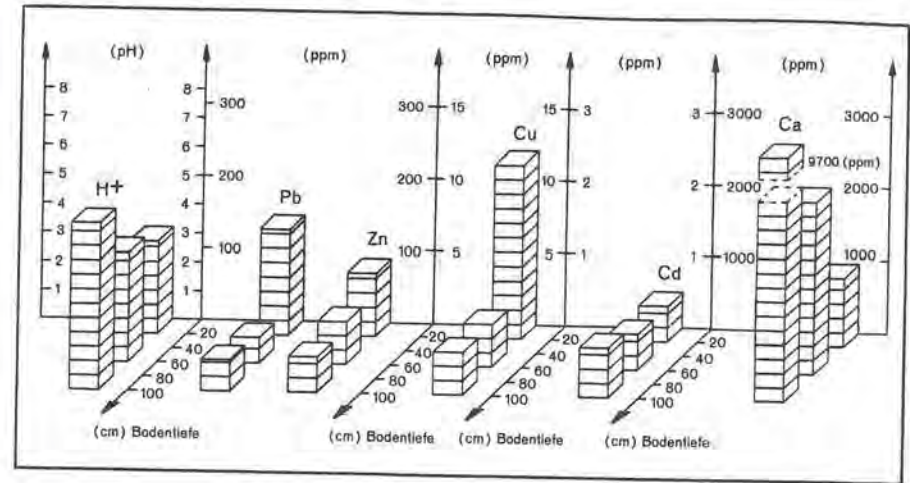


Abb. 7: Mittelwerte der Waldstandorte auf Aue- und Lößlehmböden (W14 bis W16) für die Schwermetallgehalte von Pb, Zn, Cu und Cd, außerdem die Ca-Gehalte und pH-Werte

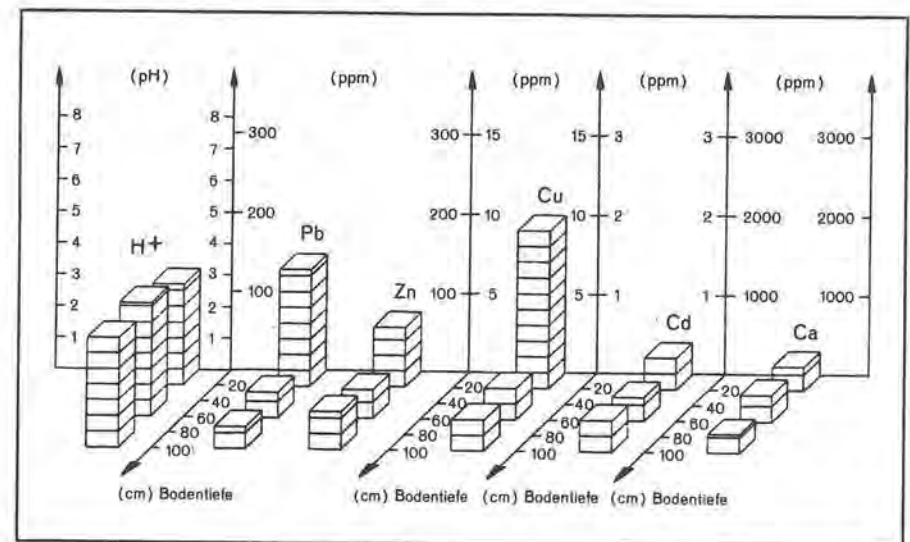
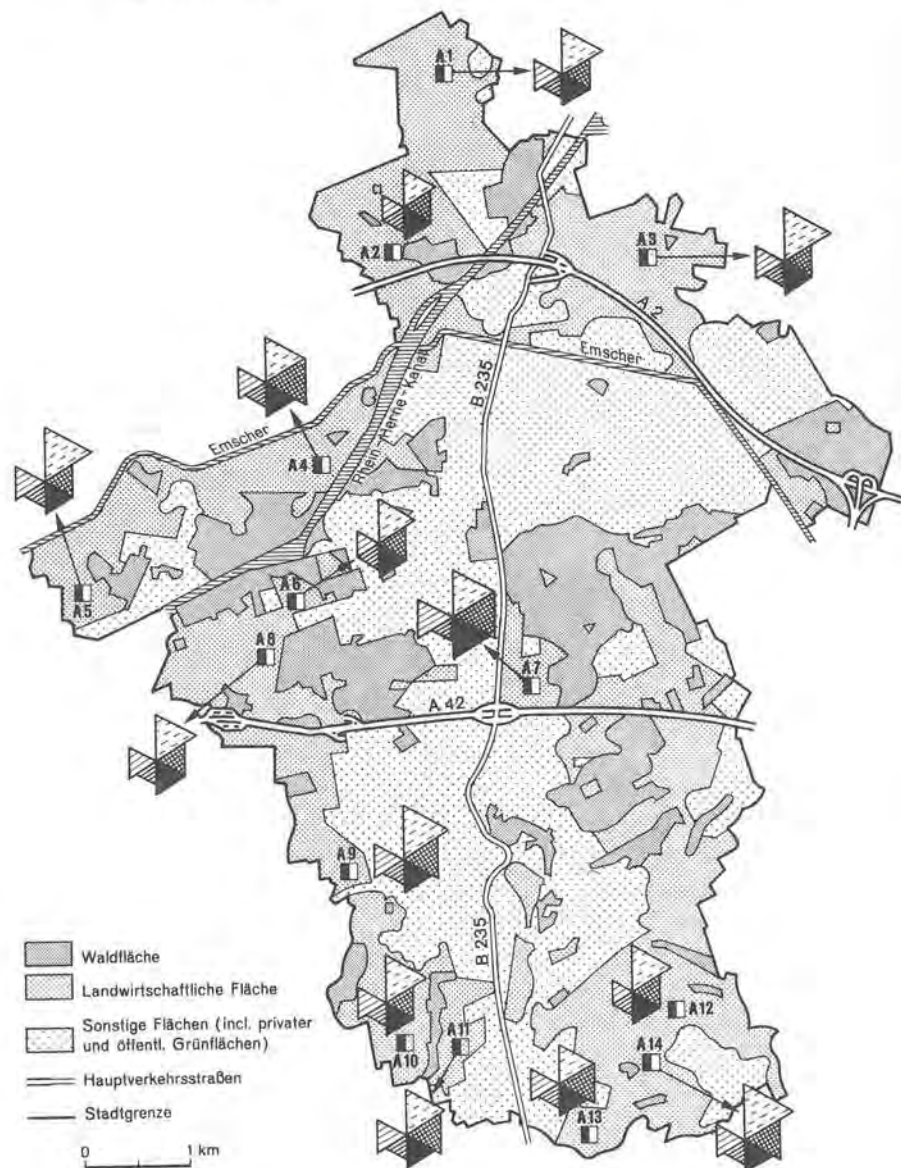


Abb. 8: Stadtgebiet Castrop-Rauxel: pH-Werte, Pb-, Cd-, Cu- und Zn-gehalte im Ackerland



Legende zu Abbildung 8

Blei (Pb)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100	
Wert in ppm	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100	

Cadmium (Cd)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100		
Wert in ppm	0-0,75	0,76-1,5	1,51-2,25	2,26-3		

Kupfer (Cu)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100		
Wert in ppm	0-25	26-50	51-75	76-100		

Zink (Zn)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100	
Wert in ppm	0-75	76-150	151-225	226-300	> 300	

Calcium (Ca)						
Symbol						
log der Ca - Konzentration	0-1	1,1-2	2,1-3	3,1-4	4,1-5	

pH-Wert						
Symbol						
pH-Wert	≤ 3	3,1-4	4,1-5	5,1-6	6,1-7	> 7

- Waldstandorte auf Sanden
- ⊗ Waldstandorte auf Mergeln
- Waldstandorte auf Löss
- Ackerstandorte
- Standorte auf privaten und öffentl. Grünflächen
- W Waldstandortsignatur
- A Ackerstandortsignatur
- P/Ö Signatur für private und öffentl. Grünflächen
- Signaturen für die Probenentnahmetiefen
- A = 0-20 cm
- B = 40-60 cm
- C = 80-100 cm

und zwar bei den tonigen Böden und Horizonten (B₁-Horizonte der Parabraunerden) mit höherer Sorptionsfähigkeit — mehr als bei den schluffigen Böden und Horizonten. Da der Ca-Gehalt insbesondere bei den entkalkten Lößlehmen ähnlich gering ist wie bei den sandigen Waldböden, läßt sich schließen, daß die höheren SM-Gehalte bei den lehmigen und tonigen Böden hauptsächlich auf die Bodenart zurückzuführen sind und erst in zweiter Linie auf die vom pH-Wert abhängige Mobilisierung. Insgesamt fällt bei den Waldböden, die in ihrem Profilaufbau noch am ehesten als natürlich bezeichnet werden können, eine häufige Grenzwertüberschreitung nach der Klärschlammverordnung aus dem Jahre 1982⁷ beim Pb auf. So wird der Grenzwert von 100 ppm an 6 von 16 Beprobungsstandorten überschritten. Das ist hauptsächlich durch die hohe Absorption der Humussubstanz bedingt, die auch noch bei relativ niedrigen pH-Werten erhalten bleibt, das heißt das Blei ist an die Huminstoffe besonders fest gebunden.

Andere Ergebnisse stellten sich bei den Ackerböden (A-Standorte) und den Böden privater und öffentlicher Grünflächen (P- und Ö-Standorte) ein.

Im Ackerland wurden insgesamt 14 Proben entnommen (vgl. Abb. 8). Da der Hauptwurzelbereich der meisten Feldpflanzen der Oberboden ist und die Schwermetalle hauptsächlich über das Erntegut in den biologischen Kreislauf gelangen, wurden bei den Acker- und Grünlandböden nur aus den oberen 20 cm Proben entnommen. In den Unterböden ist ein ähnliches Verhalten der SM in Abhängigkeit von Bodenart und Säuregrad zu erwarten wie bei den Waldböden. Im Unterschied zu den Waldböden, deren SM-Gehalte fast nur durch natürliche Faktoren, wie das Substrat des Standorts und die Bodenart gesteuert werden, kommt bei den Acker- und privaten Grünflächenböden (= Gartenböden) noch die menschliche Beeinflussung durch Düngung und Bodenbearbeitung, insbesondere Verdichtung des Unterbodens durch den Einsatz schwerer Maschinen, hinzu. Außerdem bewirken Ernte und Bodenerosion einen regelmäßigen Stoffentzug, der die Schwermetalle einschließt. Alle diese Einflüsse führen zu einer Variation in der Verteilung der SM im Vergleich zu den Waldböden. Während bei den Waldböden nach Regenfällen regelmäßig ein Anstieg der SM-Gehalte im Oberboden festzustellen ist, weil die an Blättern und Zweigen haftenden Immissionen abgewaschen werden, findet bei vegetationslosen Acker- und Gartenböden eine Verlagerung der SM durch Niederschlagswasser in tiefere Bodenschichten statt. Infolgedessen gehen im Oberboden die Werte zurück, während sie in tieferen Bodenschichten ansteigen.

Bei den regelmäßig gedüngten Ackerböden ist der Ca-Gehalt zumeist künstlich erhöht, so daß sich aus diesem Parameter keine allgemeinen Schlußfolgerungen ziehen lassen. Deshalb wurde hierbei — wie auch bei den Grünflächenböden (P- und Ö-Standorte) auf seine Bestimmung verzichtet. Für eine künstliche Erhöhung der Ca-Gehalte des Bodens sprechen auch die relativ hohen pH-Werte (\bar{x}_A PH 5,6), was dem „physiologischen Neutralpunkt“ entspricht.⁸

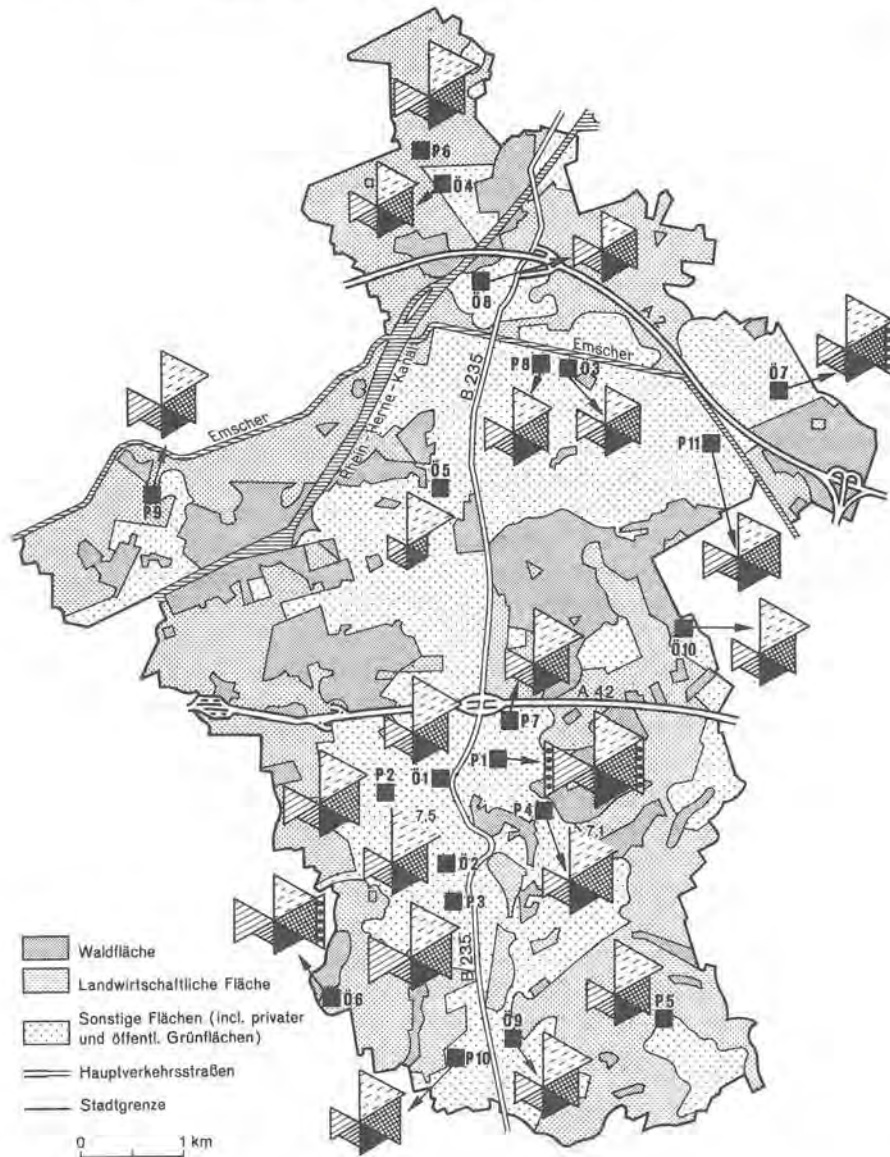
Günstig zu bewerten bei den Ackerböden ist, daß weder bei den Mittelwerten noch bei den Einzelwerten Grenzwertüberschreitungen nach der Klärschlammverordnung auftraten, das heißt die Böden sind — obwohl in einem alten Industriegebiet gelegen — nach diesen Grenzwerten voll geeignet für die landwirtschaftliche Produktion.

Für die Böden der privaten und öffentlichen Grünflächen (vgl. Abb. 9) trifft grundsätzlich ähnliches zu wie für die Ackerböden. Da Grünflächen und Gärten jedoch öfter im unmittelbaren Siedlungsbereich liegen, ist die anthropogene Beeinflussung durch kompostierte Siedlungsabfälle zumeist noch stärker als bei den Ackerböden. Häufig weisen die Gartenböden mächtige Humushorizonte mit hohen Humusgehalten auf und werden dann typologisch als „Hortisole“ bezeichnet. Grundsätzlich ist bei der Beurteilung der Flächen zu fragen: Wurde die Fläche gartenbaulich genutzt? Wurde sie regelmäßig kompostiert? Wurden Siedlungsabfälle, fremdes Erdreich oder Schutt eingetragen? Wenn ja, woher stammt das Material?

Die Untersuchung und Interpretation ergab, daß die privaten Grünflächen (P-Standorte) häufig etwas höhere SM-Gehalte aufweisen als die öffentlichen (Ö-Standorte), was mit der größeren Nähe zu den Siedlungen, der intensiveren Düngung, Kompostierung und Bearbeitung zu erklären ist. An drei Beprobungsstellen, P1 sowie Ö6 und Ö7, wurde beim Blei der Grenzwert der Klärschlammverordnung aus dem Jahre 1982 überschritten. P1 weist nicht nur eine erhebliche Grenzwert-Überschreitung beim Blei (155 ppm), sondern auch eine solche beim Zink (338 ppm bei einem Grenzwert von 300 ppm) auf. Auch der Cd-Gehalt war gegenüber den übrigen P-Standorten erhöht und erreichte etwa die Hälfte (1,6 ppm) des nach der Klärschlammverordnung zulässigen Wertes von 3 ppm. Dies entsprach dem zweithöchsten Cd-Wert im Untersuchungsgebiet. Augenscheinlich liegt eine Sondersituation vor, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann.

Als Fazit aus den Untersuchungen ergibt sich: Die Schwermetallgehalte im Boden werden durch anthropogene und natürliche Faktoren beeinflusst. Von den natürlichen Faktoren sind vor allem zu nennen Huminstoffgehalt, Bodenart und Säuregrad, der wiederum vom Ausgangsgestein und der durchlaufenen Bodenentwicklung abhängig ist. Von den anthropogenen Faktoren beeinflusst vor allem die Bodennutzung und dabei speziell der verwendete Dünger den SM-Gehalt. Böden mit hohem pH-Wert und hoher Sorptionsfähigkeit, für die hauptsächlich die Humussubstanz und die Tonminerale in Frage kommen, binden die Schwermetalle weitgehend und haben damit eine Filterfunktion für das Grundwasser. Eine starke Belegung der Sorptionsträger mit Schwermetallen engt jedoch die Filterfähigkeit laufend ein, das heißt die Kapazität des Filters erschöpft sich allmählich. Bei einem Säureschub besteht vor allem beim Cd und Zn die Gefahr — das Pb ist fester gebunden —, daß große Menge in Lösung gehen und so ins Grundwasser und in die Nahrungskette gelangen. Auch sollte bei den Waldböden, deren Humushorizonte besonders hohe SM-Gehalte aufweisen, Kahlschlagwirtschaft vermieden werden, weil sie zu raschem Humusabbau und damit zu einer Mobilisation der SM führt.

Abb. 9: Stadtgebiet Castrop-Rauxel: pH-Werte, Pb-, Cd-, Cu- und Zn-Gehalte in öffentlichen (Ö) und privaten (P) Grünflächen



Legende zu Abbildung 9

Blei (Pb)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100	
Wert in ppm	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100	

Cadmium (Cd)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100		
Wert in ppm	0-0,75	0,76-1,5	1,51-2,25	2,26-3		

Kupfer (Cu)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100		
Wert in ppm	0-25	26-50	51-75	76-100		

Zink (Zn)						
Symbol						
v. H. des Grenzwertes nach Klärschlammverordnung	0-25	26-50	51-75	76-100	> 100	
Wert in ppm	0-75	76-150	151-225	226-300	> 300	

Calcium (Ca)						
Symbol						
log der Ca - Konzentration	0-1	1,1-2	2,1-3	3,1-4	4,1-5	

pH-Wert						
Symbol						
pH-Wert	≤ 3	3,1-4	4,1-5	5,1-6	6,1-7	> 7

- Waldstandorte auf Sanden
- ⊗ Waldstandorte auf Mergeln
- ⊙ Waldstandorte auf Löß
- Ackerstandorte
- Standorte auf privaten und öffentl. Grünflächen
- W Waldstandortsignatur
- A Ackerstandortsignatur
- P/Ö Signatur für private und öffentl. Grünflächen
- Signaturen für die Probenentnahme - tiefen
A = 0-20 cm
B = 40-60 cm
C = 80-100 cm

Ein weiteres mit dem Boden verbundenes Umweltproblem in einer alten Bergbau- und Industrieregion sind starke Bodenkontaminationen, die sich häufig auch auf das Grundwasser auswirken. Sie können unter Standorten zumeist stillgelegter Anlagen der Industrie und des Bergbaus auftreten, können aber auch von Aufhaldungen und Verfüllungen oder von Abfall-Deponien oder Ablagerungen alter Kampfmittel ausgehen. Wenn die Bodenverunreinigungen unter solchen Altstandorten und Altablagerungen eine erkennbare Gefahr für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung darstellen, werden sie als Altlasten bezeichnet.⁹ Sie spielen besonders dann eine Rolle, wenn es um eine Wiedernutzbarmachung der von den kontaminierenden Betrieben verlassenen Flächen geht. Das hierfür wohl am bekanntesten gewordene Beispiel des Ruhrgebiets ist Dortmund-Dorstfeld, wo ein ehemaliges Zechengelände mit dem Standort einer Kokerei ohne ausreichende Gefährdungsabschätzung und Sanierung einer Wohnbebauung zugeführt worden ist. In Nordrhein-Westfalen gibt es nach einer Pressemeldung vom 1. 10. 90 mehr als 12 000 Altlasten-Verdachtsflächen, die katastermäßig erfaßt sind. Die meisten davon liegen in den alten Montanregionen Ruhrgebiet und Aachener Revier. Das Problem der Altlasten vereinfacht sich insofern etwas, als bei Kenntnis des Aufbaus, der Produkte und der Herstellungsverfahren der kontaminierenden Industrien industriespezifische Kontaminationsmuster angenommen und die Untersuchungen daraufhin ausgerichtet werden können. So sind die Standorte von Hüttenwerken und deren Deponien vor allem durch erhöhte Schwermetallgehalte gekennzeichnet. Die Böden unter Kokereien mit Nebengewinnungsanlagen sowie unter Gaswerken weisen vor allem Teer und schwerflüchtige Teeröle, Rohbenzol, Toluol, Xylol, Phenole, Naphtalin, Ammoniumsulfat (u. a. Ammoniumsalze) sowie Cyanide auf. Für die Ausbreitung der Stoffe sind auf jeden Fall die Bodenarten (die Böden allgemein), die Gesteine des Untergrundes nach Art und Lagerung sowie der Flurabstand und die Fließrichtung des Grundwassers wichtig. So vielfältig wie die Produktpalette können die Bodenkontaminationen im Bereich von Standorten der chemischen Industrie sein. Besonders organische Verbindungen und deren Abbauprodukte werfen hier noch Schwierigkeiten bei der Analytik und Bewertung auf. Wenn auch die analytische Erfassung und Bewertung der kontaminierenden Stoffe in Altlasten ein chemisches Problem ist, so wird ihre Ausbreitung doch hauptsächlich durch geogene Faktoren gesteuert. Somit ist Altlastenforschung auch eine Aufgabe der Erdwissenschaften, insbesondere der Bodenkunde und der Hydrogeologie.

ARBEITSSCHRITTE BEI DER ATTLASTENFORSCHUNG UND -SANIERUNG:

- I. Altlastenentdeckung
(nach mündlichen Auskünften, Karten und mit Methoden der Fernerkundung sowie nach Hinweisen der Vegetation)

2. Gefährdungsabschätzung unter Berücksichtigung der derzeitigen und der geplanten Nutzung
3. Sanierung bei Überschreitung von Grenzwerten

Die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung vom Februar 1985 sieht eine Sicherung der Bodenfunktionen vor durch:

- Minimierung bzw. Verminderung des Schadstoffeintrags in den Boden durch die Luft, durch Bodennutzung und als Folge von Altlasten,
- Schutz vor Substanzverlusten durch Reduzierung der fortschreitenden Flächeninanspruchnahme und
- Bodenschutz als Voraussetzung für einen umfassenden Biotop- und Artenschutz.

Bei Sanierungsbedürftigkeit kommen heute verschiedene Verfahren in Frage, von denen die wichtigsten beispielhaft genannt seien:

- Bodenaushub/-austausch (Deponierung des kontaminierten Bodens).
- In-situ-Behandlung
Behandlung der Altlast mit biologischen, photolytischen, physikalischen oder chemischen Mitteln, wobei zur Zeit folgende Verfahren gebräuchlich sind:
 - a) Verdichtung und Verfestigung
 - b) Extraktion
 - c) Immobilisation
 - d) Biologischer Abbau
 - e) Bodenluftabsaugung
- On-site-Behandlung
Reinigung am Ort durch mobile Anlagen
 - a) Verbrennung bei 800—1300° C
 - b) Pyrolyse bei 400—800° C
- Einkapselung
- Hydraulische Verfahren
werden hauptsächlich zur Sanierung von Grund- und Sickerwässern angewandt.

Untersuchungen über die Auswirkungen thermischer Behandlungsverfahren zur Dekontamination von Böden, die Th. WERTH 1989 (25) im Rahmen seiner Diplomarbeit durchgeführt hat, haben jedoch gezeigt, daß bereits oberhalb 500° C negative Veränderungen der chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften eintreten, die sich über 800° C erheblich verstärken (Verbrennung der organischen Substanz, bei 500° C beginnende Auflösung der Kristallgitter der Tonminerale). Die Arbeitstemperatur bei der thermischen Dekontamination von Böden sollte deshalb möglichst unter 800° C gehalten werden. Wegen grundlegender Veränderungen der Bodensubstanz sollte auf Temperaturen über 1000° C nach Möglichkeit ganz verzichtet werden. Thermische Behandlungsverfahren mit hohen Temperaturen eignen sich danach nur für Böden, die später weder landwirtschaftlich noch für Zwecke der Erholung und, mit Einschränkungen, auch des Wohnens genutzt werden sollen.

Generell besteht bei den Böden im Siedlungsbereich noch ein großer Forschungsbedarf. Wichtig wäre es, daß bald eine Bodenschutzkonzeption ent-

wickelt und verbindlich gemacht wird, die auch für den besiedelten Bereich einen umfassenden und wirksamen Schutz der Bodenfunktionen vorsieht.

FLORA UND VEGETATION IM SIEDLUNGSBEREICH

Ein bedeutsames Aufgabenfeld der Siedlungsökologie ist die Erkundung von Flora und Vegetation im besiedelten Bereich. Sie schließt ihre Kartierung, ökologische Deutung und Bewertung ein. Aus geowissenschaftlicher Sicht ist die Vegetation hauptsächlich ein Mittel zur Raumbewertung. Florenbestand, Vergesellschaftung und Vitalität der Pflanzen sind aussagekräftige Indikatoren für die am Standort herrschenden Umweltbedingungen. Seit epixyle Rindenflechten für die Bewertung der lufthygienischen Situation in Städten und Industriegebieten eingesetzt werden, ist dies in der Geographie allgemein bekannt. Besonders gründliche Untersuchungen zur Ruderalvegetation einer mitteleuropäischen Stadt sind seit Beginn der 70er Jahre von SUKOPP und seinen Schülern in Berlin (W) durchgeführt worden (26). Weitere Städte — zumeist Großstädte — folgten. Insgesamt sind in Mitteleuropa, wo die pflanzensoziologische Forschung besonders fortgeschritten ist, etwa 30 Städte floristisch und vegetationskundlich bearbeitet. Nach einer Auflistung von GÖDDE (27) reichen diese Bearbeitungen von Malmö im Norden bis Wien im Süden und von Euskirchen im Westen bis Lublin im Osten. Dabei hat sich gezeigt, daß das vorhandene Potential an schutzwürdigen Arten und Lebensgemeinschaften größer ist, als man vorher angenommen hat.

Neben dem wissenschaftlichen Interesse dienen die Untersuchungen vor allem Fragen der Stadtplanung, wie dem Freiraumschutz, der Grünpflanzung und der Wohnumfeldverbesserung.

Die Vegetation im Siedlungsbereich erfüllt wichtige Funktionen:

1. Indikatorfunktion

Aus dem Vorkommen bestimmter Arten und Vegetationsbestände ergeben sich Hinweise auf spezifische ökologische Bedingungen im Siedlungsbereich, die bis hin zum Pflegezustand von Stadtquartieren reichen. Zum Teil werden auch kurzfristige Veränderungen von Umweltbedingungen durch die Vegetation angezeigt.

2. Umweltschutzfunktion

Die Vegetation hält den Boden auch im städtischen Bereich funktionsfähig. So bewirkt die Durchwurzelung Auflockerung und Durchlüftung, die Humusbildung erhöht die Filterung und Absorption von Schadstoffen und fördert ihren mikrobiellen Abbau. Auf diese Weise wird das Grundwasser geschützt.

Sehr wichtig ist der Einfluß von begrünten Flächen auf Stadtklima und Lufthygiene (Filterwirkung).

3. Biotopbildungsfunktion

Pflanzengesellschaften und ihre Standorte bilden auch im Siedlungsbereich Biotope, die Refugien und Ausbreitungszentren für mehr oder weniger

seltene Pflanzen und Tiere sind. Um diese Aufgabe erfüllen zu können, sind möglichst Biotopverbundsysteme zu schaffen.

4. Erholungs- und Erlebnisfunktion

Städtische Grünflächen und Gärten dienen der Naherholung und ermöglichen auch dem Stadtbewohner eine Begegnung mit der Natur, was besonders wichtig für junge Menschen ist (Achtung vor der Mitkreatur).

5. Pädagogische Funktion als Lehr- und Experimentierflächen sowie für die Erziehung zu umweltbewußtem Handeln.

6. Gliederung und Belebung des Stadtbildes: Vegetationsgruppen, -flächen oder -bänder gliedern und beleben das Stadtbild.

7. Vegetationsstrukturen als Identifikationsmerkmale einer Siedlung

Bestimmte Vegetationsstrukturen gehören oft zu den unverwechselbaren Merkmalen einer Siedlung und können so zu einer räumlichen Identitätsfindung beitragen (Regionalbewußtsein, Heimatgefühl).

8. Lärmschutz

Bei entsprechender Anlage und Gestaltung können Gehölzbestände und -streifen nicht nur Staub-, sondern auch Lärmimmissionen erheblich mindern.

Neben dem Artenschutz spielt neuerdings auch der Biotopschutz im Siedlungsbereich eine Rolle. Um diesen Ansatz zu entwickeln, hat sich eine „Arbeitsgemeinschaft Methodik der Biotopkartierung im besiedelten Bereich“ (28) gebildet. Es geht ihr darum, den Bestand an Biotopen in einer Stadt möglichst flächendeckend zu erfassen. Als Stadtbiotope können gelten: Friedhöfe, Parkanlagen bzw. Teile von solchen, ältere Gärten, städtische Brachflächen mit Spontanvegetation, Ruderalsäume von Wegen und Gleisanlagen, begrünte Ufer von Gewässern, als Hausgärten genutzte oder durch Gehölzgruppen gestaltete Blockinnenhöfe, alte Mauern und Ruinen mit typischen Mauerpflanzen-Gesellschaften. Biotopkartierungen im Siedlungsbereich werden vor allem deshalb durchgeführt, um sich spontan oder unter Mitwirkung des Menschen einstellende natürliche Strukturen zu bewahren und weiterzuentwickeln. Damit sollen die bereits genannten Leistungen der Vegetation in der städtischen Umwelt gefördert und vor allem den Menschen in der Stadt Naturerlebnisse ermöglicht werden.

Aussagekraft für die ökologische Gliederung und Bewertung einer Stadt hat vor allem die spontane und subspontane Vegetation, die im Stadtgebiet von Bochum W. SCHULTE (1985) aufgenommen hat (29). Im Siedlungsbereich spielen vor allem das Klima mit den Parametern Wärme, Feuchte, lufthygienische Situation, die Böden samt anthropogenen Stoffeinträgen und Versiegelungsgrad sowie die Intensität der städtischen Flächennutzung — vorwiegend die mechanische Belastung durch Betreten und Befahren sowie der stoffliche Eintrag — ökologisch eine Rolle. Ähnlich wie bei der Differenzierung von Klima und Boden hat die städtische Flächennutzung einen entscheidenden Einfluß auf Artenzusammensetzung und Dichte der Vegetation. Die Ermittlung von Pflanzengesellschaften bereitet im Siedlungsbereich oft Schwierigkeiten, weil solche im Vergleich zum Freiland oft nur fragmentisch ausgebildet sind. HARD, HÜLBUSCH und KIENAST haben jedoch am Beispiel verschiedener Städte gezeigt, daß bestimmte Vegetationskomplexe (Sigma-Gesellschaften) charakte-

ristisch für bestimmte Stadtquartiere sind (30) In Bochum wurde hauptsächlich floristisch vorgegangen. An vier unterschiedlich strukturierten Flächen im Stadtgebiet, deren Flächeninhalt zusammen 432 ha = 4,32 km² beträgt, hat SCHULTE (1985) eine gründliche Florenanalyse vorgenommen. Davon liegen 352 ha in der Bochumer Innenstadt, 20 ha im Schwerindustrialbereich, 40 ha in einem noch ländlichen Siedlungsgebiet mit altem Dorfkern und agrarisch genutzten Restflächen (Bochum-Eppendorf) und 20 ha in einem Gebiet randstädtischer Bebauung mit durchgrüntem Wohnblocks aus den letzten Jahrzehnten, einer Bergsenkung und einer aufgelassenen Industriebahntrasse (Bochum-Munnscheid).

Die Bezugsbasis für die floristische Kartierung bildeten 432 Hektar Rasterquadrate von 100 x 100 m Fläche. Sie ermöglichen eine Vergleichskartierung zu jedem beliebigen Zeitpunkt. Auf der Grundlage dieser kartographisch genau fixierten Flächen wurde der Florenbestand in Punktraster-Verbreitungskarten und zugehörigen EDV-gestützten Häufigkeitskarten dargestellt.

Insgesamt wurden auf den vier Untersuchungsflächen 465 Gefäßpflanzenarten (Samen- und Farnpflanzen) nachgewiesen. Davon gelten knapp die Hälfte, nämlich 209 Arten oder 45,3 Prozent als einheimisch, 63 oder 13,7 Prozent als Alteinwanderer (Archäophyten), 79 oder 17 Prozent als Neueinwanderer (Neophyten), das heißt nach 1500 eingewandert, und 111 als Ephemerophyten, das heißt unbeständige, zumeist verwilderte Zierpflanzen. Der große Anteil von mediterranen und südeuropäischen bzw. -asiatischen Arten unter den Neophyten weist auf die Eigenheiten des Stadtklimas und auf die trockenen Bodenverhältnisse hin, die vor allem auf Anschüttungen herrschen.

Unter den 465 nachgewiesenen Gefäßpflanzenarten waren zahlreiche Neufunde und Rote-Liste-Arten. Als Neufunde auf Blatt Bochum TK 25 wurden so der im Schwerindustrialgelände in größeren Beständen vorkommende *Reynoutria sachalinensis*, (Fried. Schmidt/Nakai) und im Ruderalsaum eines Heißgebäudes (Preßwerk) der in Südeuropa beheimatete extreme Wärmezeiger *Chenopodium botrys* L. aufgenommen.

Die relativ hohe Zahl von Neophyten — in anderen Großstädten wie Berlin liegt sie teilweise noch höher — ist nicht nur positiv zu bewerten. Darunter befinden sich nämlich auch solche Arten, die sich auf Grund für sie günstiger Standortbedingungen und ihrer enormen Wettbewerbskraft so stark ausbreiten, daß sie einheimische Arten aus ihren Lebensräumen verdrängen. Ein Beispiel hierfür ist der in Herden auftretende japanische Staudenknöterich *Reynoutria japonica* Houtt., der sich nicht nur auf den Ruderalsäumen von Bahnen und Straßen verbreitet hat, sondern — begünstigt durch nährstoffreiche Böden — auch bereits an den Rändern und auf Lichtungen von Laubwäldern. Durch starke Wurzelkonkurrenz, zu der er durch Wurzelsproßbildung befähigt wird, und Beschattung verdrängt er fast alle heimischen Arten. Ein anderer häufig gewordener Neophyt ist auch der giftige Riesen-Bärenklau *Heracleum mantegazzianum* Sommier et Levier, der seine großen Blütendolden auf Ruderalstandorten an Straßenrändern und an Bachufern, insgesamt vornehmlich auf Feuchtstandorten, schiebt. Ursprünglich wurde er als Zierpflanze eingeführt. Besonders ausgebreitet hat sich in Norddeutschland in den letzten Jahren das Schmalblättrige Greiskraut *Senecio inaequidens* DC. Die gelbblühende Asteracee wächst

vornehmlich auf Trockenstandorten, so auf Bahnschotter, an Straßenrändern zwischen Steinen und Platten. Sie stammt aus dem südlichen Afrika und ist eine Wolladventivpflanze, das heißt die Samen wurden mit Wollimporten eingeführt. Ein weiterer im Ruhrgebiet sehr verbreiteter Neophyt ist der aus China stammende Fliederspeer *Buddleja davidii* Franch., dessen dunkelvioletten Blütentrauben von Schmetterlingen sehr geschätzt werden. Auch er bevorzugt warme Standorte und wächst auf Trümmergrundstücken und am Rande von Bahnkörpern, wo er oft mit *Salix*- und *Sambucus*-Arten eine Pionierstrauchvegetation bildet. Schließlich sei noch die aus Nordamerika stammende und bereits Anfang des 17. Jh. eingeschleppte Gewöhnliche Nachtkerze *Oenothera biennis* L. genannt, die zum Beispiel von alten Industrieanlagen geräumte Schuttflächen mit beginnender Neubildung des Bodens besiedelt, Standorte, die im Ruhrgebiet durch den industriestrukturellen Wandel besonders häufig vorkommen.


In weiteren Arbeitsschritten wurden das Arteninventar mit Hilfe eines Computerprogramms analysiert und sogenannte lokale Stadtstrukturindikatorgruppen (= Nutzungsstrukturindikatorgruppen) gebildet. Die sich danach ergebenden Phytotope, das sind Flächen gleicher bzw. ähnlicher floristischer Ausstattung, ließen sich zu anderen ökologisch relevanten Faktoren wie Wärme, Besonnung, Luftfeuchte, Bodenbeschaffenheit, Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad, Bebauungsgröße, Verkehrsintensität und Flächennutzung in Beziehung setzen. Bereiche mit gleichen oder ähnlichen ökologischen Gegebenheiten und gleicher floristischer Ausstattung wurden schließlich als stadtoökologische Raumeinheiten ausgegliedert (vgl. Abb. 10). Sie sind vor allem als Grundlage für die Grün- und Bebauungsplanung gedacht.

Durch die für die einzelnen stadtoökologischen Raumeinheiten ermittelten Artenzahlen-Schwellenwerte wurde deutlich, daß sich einige öffentliche Grünflächen und Parkanlagen (Stadtpark), unter anderem infolge der intensiven Pflege und des alljährlichen Herbizideinsatzes, zur Zeit der Aufnahme kaum von den artenärmsten Gebieten der Bochumer Innenstadt (Citybereich) unterschieden. Immerhin konnten aber auch im Kernbereich der Innenstadt noch 105 spontane und subsponane Arten von Gefäßpflanzen nachgewiesen werden. Jedoch sind die Wuchsorte wegen der starken Bodenversiegelung zumeist weit verstreut, die Arten kommen oft nur in geringer Individuenzahl vor, und der Entwicklungsstand der Pflanzen ist fast immer als spärlich zu bezeichnen.

Als floristisch reichhaltig haben sich dagegen erwiesen: innerstädtische Brachflächen, die längere Zeit ungenutzt liegen und nicht zu stark dem Verkehr unterliegen, Gleissäume alter, teilweise aufgegebener Bahnanlagen, außerdem extensiv gepflegte Grünanlagen und alte Parks um soziale Einrichtungen wie Krankenhäuser, Museen, Schulen und kirchliche Gebäude. Sie sind in Abbildung 10 als „Sonderflächen“ ausgewiesen. Artenreich ist auch der ehemals dörfliche Siedlungsbereich, der alte Dorfkern von Bochum-Eppendorf mit teils verwilderten Obstgärten und hier besonders die Säume zwischen den Gärten und der Feldflur. Sie bilden geradezu Refugien für Wildpflanzen, die in der intensiv mineralisch gedüngten und mit Herbiziden behandelten Feldmark keine Wachstumsbedingungen mehr finden. Als relativ artenreich erwies sich auch das Brachland in der Umgebung der Schwerindustriebetriebe mit teilweise kalkreichen Industriosolen (vgl. Abb. 10).

Abb. 10: Schematische stadtökologische Raumgliederung von Bochum (nach SCHULTE 1985; stark verändert)

Fauna-Artenreichtum: 1 = sehr gering; 2 = gering; 3 = mittel; 4 = hoch; 5 = sehr hoch. Sonderflächen: Kirchen, Schulen, Krankenhäuser, Museen etc.

STADTÖKOLOGISCHE RAUMEINHEITEN		XII	X	IX	IV	III	IIb	IIa	I	V	VI	VII	VIII	XI	XIII
		Naturrelikte (Waldreste etc.)	Agrarflächen	Dorfbereich	Kleingärten	Grünanlagen	Villengebiet	Mischbebauung	Innenstadt	Sonderflächen	Brachland	Bahnanlagen	Industrieanlagen	Bahnrelikte	Feuchtbioptop
ÖKOFAKTOREN															
KLIMA	Jahresmitteltemp.	< 9° C	9,5-10° C	9-9,5° C	9,5-10° C	> 10° C	9-9,5° C	9,5-10° C	< 9° C						
	Luftfeuchtigkeit	vermindert			vermindert				vermindert						
	Luftthygiene				Luftaustausch herabgesetzt				herabgesetzt						
		Luft verunreinigt													
RELIEF	geom. Prozesse	anthropogene Abtragungen, Aufschüttungen, Ebnungen, Sackungen													
	Bebauungsdichte in %	0	0-20	40-60	20-40	0-20	40-60	60-80	80-100	40-60	0-20	60-80	80-100	0-20	0
BODEN	anthropogene Veränderungen	Hortisole			Siedlungsböden						Deposole, Technosol, Allosol, Phytosol				
	WASSER	Oberfl.-gewässer: eutrophiert - kanalisiert - verrohrt - kanalisiert - eutrophiert													
	Grundwasserneubildung	± eingeschränkt, Verunreinigungen			stark eingeschränkt, Grundwasserspiegel abgesenkt						ungeschränkt, Verunreinigungen				
FLORA	Artenzahl - Schwellenwerte (pro ha)	10-29	10-49	> 69	10-49	10-29	30-49	< 10	10-29	30-69	> 69	30-69	10-69	> 69	10-49
FAUNA	Artenreichtum (Erläuterung s.o.)	3-4	2	3-4	3	2	3	1-2	1	3-4	5	4-5	5	5	5

Der verhältnismäßige Reichtum an spontanen und subspontanen Arten im Siedlungsbereich ist Ausdruck der hier stark wechselnden Standortbedingungen. Eine Stadt mit verschiedenen alten Bauvierteln in unterschiedlichem Erhaltungszustand, mit wechselnder baulicher Verdichtung, dazwischenliegenden Brachflächen, Verkehrseinrichtungen, alten Gärten oft mit stark eutrophierten, humusreichen Böden (Hortisole), aber auch Anschüttungs- und Abtragungsgelände mit Rohböden und Anfangsstadien der Bodenbildung weist mannigfache Standortbedingungen auf. Hinzu kommen ökologische Nischen, zum Beispiel alte Mauern, extensiv gepflegte Gärten und Parks sowie sonstige städtische Winkel. Verstärkend auf die Ansiedlung von Neophyten wirkt sich auch die in den letzten Jahrzehnten angestiegene Einfuhr von teilweise gut angepassten Zier- und Nutzpflanzen sowie der weltweite Warenaustausch aus.

Wichtig ist, daß in einem urban-industriellen Verdichtungsgebiet Ausgleichsflächen und Rückzugsgebiete für Flora und Fauna erhalten bleiben bzw. neu geschaffen werden. Mit solchen Flächen, die infolge menschlicher Tätigkeit Veränderungen erfahren haben, hat sich die Diplomarbeit von H. WIEMANN (1986) beschäftigt (31). Untersuchungsgebiet war ein zirka 50 ha großer Ausschnitt aus dem Emscherbruch südlich von Herten. Das Gebiet war ursprünglich gänzlich mit Wald bestanden, wobei in der Emscherniederung Feuchtwaldgesell-

schaften einen hohen Anteil hatten. Heute haben sich hier durch Bergsenkungen drei Feuchtgebiete gebildet, in denen das Grundwasser zum Teil großflächig zu Tage tritt. Durch den Wechsel von Versumpfungen und offenen Wasserflächen mit Verlandungsgesellschaften sind vielfältige Biotopbedingungen entstanden. An die Niederung schließen sich höhere, teils lößbedeckte Terrassen an, die mit Resten von naturnahem Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*) und Flattergras-Buchenwald (*Miljo-Fagetum*) bestanden sind. Aufforstungen sind hauptsächlich mit nordamerikanischer Roteiche vorgenommen worden, weil man sie einst für immissionsfest hielt.

Während einer Vegetationsperiode konnten im Feuchtgebiet etwa 100 Pflanzenarten nachgewiesen werden. Auch wenn diese Arten nur in seltenen Fällen zu den gefährdeten im Sinne der „Roten Liste NW“ zu rechnen sind, so weisen doch insbesondere die Verlandungsgürtel und Vernässungen einige im Gebiet selten gewordenen Pflanzenarten und Lebensgemeinschaften auf. Sie entsprechen den meso- und eutrophen Stillgewässern und ihrer Verlandungsvegetation. Kennzeichnend sind Großseggenriede, Röhrichtbestände, *Juncus bulbosus*-Rasen und *Potamogeton-natans*-Bestände. Hervorzuheben sind außerdem die kleinen Rohrkolben- und Igelkolben-Röhrichte sowie die gelb blühenden *Iris pseudacorus*-Bestände.

Größer als die floristisch-vegetationskundliche Bedeutung des Gebietes ist die faunistische. Der Wald mit den eingebetteten Feuchtbiotopen bietet einen Lebensraum für eine artenreiche Herpeto- und Avifauna. So wurden hier 12 Amphibien- und Reptilienarten nachgewiesen, von denen fünf auf der Liste gefährdeter bis stark gefährdeter Arten Nordrhein-Westfalens stehen. Die 54 Arten der Avifauna enthaltende Liste weist neben Brutvögeln Durchzügler und Nahrungsgäste auf. Auch von ihnen stehen mindestens fünf auf der Roten Liste NW gefährdeter Tierarten. Besondere Bedeutung besitzen die Bergsenkungsteiche als Lebensraum von 15 Groß- bzw. Kleinlibellenarten.

Mit diesen Feuchtbiotopen sind in einem Raum, in dem immer noch eine starke Umwidmung von freien Landschaftsräumen stattfindet, wertvolle Flächen für den Naturschutz und die Landschaftspflege entstanden. Solche anthropogenen Sekundärbiotop können durchaus als ökologische Ausgleichsflächen für anderwärts durch Siedlung, Verkehr und industrielle Nutzung verbrauchte Freiflächen angesehen werden.

Eine Minderung des Freiflächenverbrauchs durch Recycling von Flächen aus vorangegangener bergbaulicher und industrieller Nutzung, wobei teilweise eine Bodensanierung notwendig ist, sowie die Erhaltung der biologischen Vielfalt und ökologischen Leistungsfähigkeit der Landschaft sind wichtige Aufgaben im Zuge der Umgestaltung des Ruhrgebietes.

AUSBLICK

Die nordrhein-westfälische Landesregierung nennt in ihrem 1989 verabschiedeten Landesentwicklungsprogramm die „ökologische und ökonomische Erneuerung des Landes“ als ihr oberstes Ziel. Die Verbesserung der ökologischen

Situation muß dabei die Grundlage für den ökonomischen Umbau insbesondere der alten Industrieregionen bilden. Fragt man sich, wie dieses zweifellos hoch gesteckte Ziel zu erreichen ist, so kann die Antwort nur lauten: über eine ökologisch orientierte Planung. Für sie hat die Geoökologie mit ihren Untersuchungen Grundlagen zu liefern. Dabei müssen im Außenbereich der städtischen und industriellen Siedlungskomplexe Fragen der Sicherung der natürlichen Ressourcen, speziell Boden, Wasser und Luft, ihrer Regeneration und ökologischen Funktionsfähigkeit sowie die Erhaltung der „Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft“ (BNATG § 1 (1)) im Vordergrund stehen. Im Siedlungsbereich dagegen, und speziell in den Siedlungsagglomerationen, muß die qualitative Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen den Vorrang haben, wobei sich auch dieses Ziel hauptsächlich durch eine Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit der im städtischen Ökosystem zusammenwirkenden Umweltkompartimente erreichen läßt. Hierzu kann die Erhaltung bzw. Wiederherstellung möglichst zahlreicher naturnaher Strukturen, speziell auch von größeren Freiflächen mit lufthygienischer Funktion, Biotop- und Erholungsfunktion beitragen. Die Wiederherstellung einer gewissen ökologischen Funktionsfähigkeit der Städte und größeren Siedlungsagglomerationen kann über folgende Teilziele erreicht werden:

- die Verminderung stadtklimatischer Extreme,
- die Verbesserung der lufthygienischen Situation,
- die größtmögliche Revitalisierung kontaminierter und versiegelter Böden,
- eine Renaturierung von Gewässern dort, wo sie möglich ist und nicht mit anderen Zielen wie dem Schutz vor Hochwasser oder der Schiffbarkeit in Konflikt gerät (dasselbe gilt auch für den Außenbereich),
- die Schaffung und Erhaltung ökologisch funktionstüchtiger Vegetationsstrukturen und vegetationsbestandener Freiflächen im innerstädtischen und randstädtischen Bereich,
- eine grundsätzliche Ausrichtung auf einen umweltverträglichen Siedlungsbau.

Das zuletzt genannte Ziel schließt vor allem eine Einschränkung des Verbrauchs an freier (unbebauter) Landschaft ein, die auch ein vorrangiges Planungsziel im Außenbereich sein muß. Es ist insbesondere durch flächensparenden Wohnungs- und Industriebau sowie eine flächensparende Anlage der Infrastruktureinrichtungen, wie der Verkehrsflächen und der Ver- und Entsorgungssysteme, zu erreichen. In altindustrialisierten Regionen wie dem Ruhrgebiet muß die Wiedernutzbarmachung (das Recycling) ehemaliger Industrie- und Bergbauflächen mit Nachdruck betrieben werden. Eine Voraussetzung hierfür ist die Erkundung und Sanierung der Altlasten. Die Sanierung der kontaminierten Böden ist — wie die Herabsetzung der Emissionen in Wasser und Luft — zwar ein technisches Problem, aber die Umweltdiagnose, die Einschätzung des Gefährdungspotentials und die Bewertung des Sanierungserfolges bleiben Aufgabe der Ökologen; Geo- und Biowissenschaften einschließlich Medizin sind hier interdisziplinär gefordert.

ANMERKUNGEN

1. „Ein Ökosystem ist ein Wirkungsgefüge aus Lebewesen, unbelebten natürlichen Bestandteilen und technischen Elementen, die untereinander und mit ihrer Umwelt in energetischen, stofflichen und informatorischen Wechselwirkungen stehen“.
2. Der Kommunalverband Ruhrgebiet ist der älteste deutsche regionale Kommunalverband. 1920 als „Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk“ gegründet, wurde die „Verbandsordnung“ durch das am 1. 10. 1979 in Kraft getretene „Gesetz über den Kommunalverband Ruhrgebiet“ abgelöst und das Aufgabenspektrum des Verbandes neu festgelegt. Dem Verband gehören heute die kreisfreien Städte Bochum, Bottrop, Dortmund, Duisburg, Essen, Gelsenkirchen, Hagen, Hamm, Herne, Mülheim und Oberhausen sowie die Kreise Ennepe-Ruhr, Recklinghausen, Unna und Wesel an.
3. Der Begriff „Siedlungsfläche“ stammt aus der Kommunalstatistik. Er kennzeichnet den besiedelten Raum einer Gemeindefläche im engeren Sinne, das heißt die Gemeindefläche abzüglich der darin enthaltenen land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen und der Erholungsräume.
4. Zur Definition des Abflußbeiwertes s. R. KELLER: Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes, Berlin 1961, S. 340 ff.
5. KUTTLER, W.: Stadtklima. Struktur und Möglichkeiten zu seiner Verbesserung. Geographische Rundschau 37, H. 5, S. 226—233, 1985.
6. Königswasser ist ein Gemisch von 3 Teilen konzentrierter Salzsäure und 1 Teil konzentrierter Salpetersäure. Dabei entsteht naszierendes Cl₂, das die Metalle in ihre löslichen Chloride überführt ($3\text{HCl} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NOCl} + 2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$).
7. Klärschlammverordnung (AGfklärV) — BGBl. I, Bonn 1982, S. 734—739.
KLOKE, K.-H.: Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. — In: Mitt. VDLUFR, H. 1—3, 1980, S. 9—11.
KLOKE, K.-H.: Erläuterung zur Klärschlammverordnung. In: Landwirtschaftl. Forsch., Sonderheft Bd. 39, Frankfurt 1982, S. 302—308.
8. Wegen des höheren CO₂-Gehaltes der Bodenluft nimmt man als Neutralpunkt der Bodenlösung pH 5,6 an und bezeichnet diesen Wert als „physiologischen Neutralpunkt“.
9. Das Landesabfallgesetz (LAbfG) Nordrhein-Westfalen gibt im § 28 LAbfG folgende Definition: Altlasten sind Altlagerungen und Altstandorte, sofern von diesen nach den Erkenntnissen einer im einzelnen Fall vorausgegangenen Untersuchung und einer darauf beruhenden Beurteilung durch die zuständige Behörde eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung ausgeht.

LITERATUR

- (1) ERIKSEN, W. 1983: Die Stadt als urbanes Ökosystem. Fragenkreise 23 568. Paderborn, München.
SUKOPP, H. 1987: Stadtökologische Forschung und deren Anwendung in Europa. In: Düsseldorfer Geobotan. Kolloquium 4, S. 3—28.
- (2) ELLENBERG, H. (Hrsg.) 1973: Ökosystemforschung. Berlin.
ELLENBERG, H. 1982: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. 3. Auflage. Stuttgart.
HABER, W. 1982: Naturschutzprobleme als Herausforderung an die Forschung. Natur und Landschaft 57. Jg., H. 1, S. 3—8.
KAERKES, W. 1985: Stadtökologie — Landschaftsökologie der Stadt? In: Dokumente und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung, DISP Nr. 80/81, S. 36—41. Zürich.
- (3) BRAUN, R.-R. 1987: Umweltverträglichkeitsprüfung — UVP in der Bauleitplanung. Ein praxisorientierter Verfahrensansatz zur integrierten Umweltplanung. Köln.
BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSÖKOLOGIE (Hrsg.) 1988: Naturschutz und Landschaftspflege in der Stadt. Bonn-Bad Godesberg, Dezember.
- (4) NOLL, W. u. B. RECHMANN 1989: Strukturwandel im Ruhrgebiet. Hrsg.: Kommunalverband Ruhrgebiet. Essen.
DEUTSCHER VERBAND FÜR ANGEWANDTE GEOGRAPHIE e. V. (Hrsg.) 1989: Das Ruhrgebiet im Wandel. Welchen Beitrag kann die Geographie leisten? Material zur angewandten Geographie Bd. 17, Essen.
- (5) KRATZER, P.A. 1956: Das Stadtklima. Reihe: Die Wissenschaft Bd. 90, 2. Aufl. Braunschweig.
ERIKSEN, W. 1964: Beiträge zum Stadtklima von Kiel. Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel XXII, 1, Kiel.
LANDSBERG, H. E. 1970: Climates and urban planning. WMOT. N. 108, S. 364—374.
ERIKSEN, W. 1975: Probleme der Stadt- und Geländeklimatologie. Reihe: Erträge der Forschung Bd. 35. Darmstadt.
KUTTLER, W. 1987: Stadtklimatologie. Reihe: Grundlagen und Probleme der Ökologie, H. 4, Landschaftsverband Westfalen-Lippe.
- (6) STOCK, P. u. W. BECKRÖGE 1985: Klimaanalyse der Stadt Essen. Kommunalverband Ruhrgebiet. Abt. Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.), Essen.
KOMMUNALVERBAND RUHRGEBIET (Hrsg.) 1988: Klima und Lufthygiene als Planungsfaktoren. Essen.
Die GEOGRAPHISCHE RUNDSCHAU 39, H. 6, 1987 brachte ein Thermalbild des gesamten Ruhrgebiets als Titelbild.
- (7) SCHREIBER, K.-F. u. Mitarb. 1985: Wuchsklimakarte des Ruhrgebietes und angrenzender Bereiche. Arbeitshefte Ruhrgebiet. Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen.
- (8) ELLENBERG, H. 1956: Wuchsklimakarte von Südwestdeutschland 1:200 000, nördlicher und südlicher Teil. Stuttgart.
ELLENBERG, H. 1974: Wuchsklima-Gliederung von Hessen 1:200 000 auf pflanzenphänologischer Grundlage. Hess. Minister für Landwirtschaft und Umwelt (Hrsg.). Wiesbaden.
ELLENBERG, H. 1979: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9, 2. Aufl. Göttingen.
SCHREIBER, K.-F. u. Mitarb. 1977: Wärmegliederung der Schweiz 1:200 000 mit Erläuterungen. Grundlagen der Raumplanung, hrsg. vom Delegierten für Raumplanung. Bern.
SCHREIBER, K.-F. 1983: Die phänologische Entwicklung der Pflanzendecke als Bioindikator für natürliche und anthropogen bedingte Differenzierungen der Wärmeverhältnisse in Stadt und Land. Verhandl. Ges. Ökologie 11, Festschrift Heinz Ellenberg. S. 385—396, Göttingen.
- (9) KUTTLER, W. u. D. SCHREIBER 1984: Stadt- und geländeklimatische Untersuchungen im südlichen Münsterland. Materialien zur Raumordnung 25, Geogr. Inst. Ruhr-Univ. Bochum.
- (10) STOCK, P., BECKRÖGE, W., KIESE, O., KUTTLER, W. u. H. LÜFTNER 1986: Klimaanalyse Stadt Dortmund. Planungshefte Ruhrgebiet. P018, Kommunalverband Ruhrgebiet (Hrsg.). Essen.
- (11) MINISTER FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1980: Luftreinhalteplan Ruhrgebiet 1980—84. Düsseldorf.
Ders. 1980: Luftreinhalteplan Ruhrgebiet Ost. 1. Fortschreibung 1986—90. Düsseldorf.
- (12) KUTTLER, W. 1988: Lufthygienische und stadtklimatologische Aspekte des Rhein-Ruhr-Raumes. Geographische Rundschau H. 7/8, S. 56—62.
- (13) LIS (Hrsg.) 1990: Berichte über Luftqualität in Nordrhein-Westfalen. TEMES-Jahresbericht 1988. Essen.
- (14) DREYHAUPT, E. J. 1987: Probleme der Luftreinhaltung in Nordrhein-Westfalen. Mitt. d. Dt. Meteorologischen Gesellschaft H. 4, S. 12—17.
- (15) KUTTLER, W. 1986: Raum-zeitliche Analyse atmosphärischer Spurenstoffeinträge in Mitteleuropa. Bochumer Geogr. Arbeiten H. 47. Paderborn.
- (16) RABE, R. u. H. WIEGEL 1985: Wiederbesiedlung des Ruhrgebiets durch Flechten zeigt Verbesserung der Luftqualität an. Staub — Reinhaltung der Luft Bd. 45, H. 3, S. 124—126.
RABE, R. u. U. BECKELMANN 1987: Zusammenhänge zwischen der durch Flechten angezeigten Gesamtverunreinigung der Luft und Gesundheitsbeeinträchtigungen beim Menschen. VDI-Berichte 609, S. 729—753.
RABE, R. 1987: Flächendeckende Luftgütebeurteilung mit Flechten als Bioindikatoren, Anwendungsmöglichkeiten für die kommunale Planung. VDI-Berichte, 606, S. 671—677.
- (17) DOMRÖS, M. 1967: Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Bäume. Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde 23, Bonn.
- (18) ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE 1982: Bodenkundliche Kartieranleitung. 3. Aufl. Hannover.
ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG in der Arbeitsgemein-

- schaft Forsteinrichtung 1980; Forstliche Standortsaufnahme. 4. Aufl. Münster — Hilstrup.
- (19) REINIRKENS, P.: Siedlungsböden im Ruhrgebiet. Bedeutung und Klassifikation im urban-industriellen Ökosystem. Eine bodenökologische Untersuchung im Stadtgebiet von Bochum. Dissertation Fak. f. Geowissenschaften, Ruhr-Universität Bochum 1988. Veröffentl. vorgesehen: Bochumer Geogr. Arbeiten, H. 53, Paderborn 1991.
REINIRKENS, P. 1988: Urbane Böden: Ein anwendungsorientierter, stadtökologischer Klassifikationsversuch. Mitt. d. Deutschen Bodenkundl. Gesellsch. 56, S. 393—398.
Außerdem: Referate der Kommission V, „Urbane Böden“. Mitt. d. Deutschen Bodenkundl. Gesellsch. 56, S. 309—404, 1988.
BLUME, H.-P. 1987: Bodenkartierung von städtischen Verdichtungsräumen. — Die Heimat. Zeitschr. Natur- u. Landeskunde Schleswig-Holstein und Hamburg, 94, S. 280—288. Neumünster.
- (20) BRÜMMER, G. W. 1985: Funktionen der Böden in der Ökosphäre und Überlegungen zum Bodenschutz. Forschungen zur Raumentwicklung Bd. 14, S. 1—12, Bonn.
- (21) PALUSKA, A. 1985: Urbane Bodenversiegelung und ihre Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung. Forschgn. z. Raumentwicklung, Bd. 14, S. 105—120, Bonn.
PIETSCH, J. 1985: Versiegelung des Bodens in der Stadt und ihre Auswirkungen. Forschgn. z. Raumentwicklung, Bd. 14, S. 121—128, Bonn.
BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG (Hrsg.) 1988: Bodenversiegelung im Siedlungsbereich. Informationen zur Raumentwicklung, H. 8/9, Bonn.
- (22) WESSOLEK, G. 1988: Auswirkungen der Bodenversiegelung auf Boden und Wasser. Informationen zur Raumentwicklung, H. 8/9, S. 535—541, Bonn.
- (23) ERMELING, N. 1987: Untersuchungen zu Schwermetallgehalten von Böden in industriell intensiv genutzten Räumen. Unveröff. Staatsexamensarbeit, Bochum.
BEESE, F. u. B. ULRICH 1986: Belastung von Waldböden. Wirkung und Bedeutung von Schadstoffeinträgen. Agrarspektrum, Bd. 11, S. 83—116, Frankfurt a. M.
KÖNIG, W. u. F. KRÄMER 1985: Schwermetallbelastung von Böden und Kulturpflanzen in Nordrhein-Westfalen. Schriftenreihe der LÖLF, Bd. 10, Recklinghausen.
PLUQUET, E. 1983: Die Bedeutung des Tongehaltes und des pH-Wertes für die Schwermetallaufnahme einiger Kulturpflanzen aus kontaminierten Böden. Texte des Umweltbundesamtes, 40/83, Forschungsbericht 10 301 210, Berlin.
HOFFMANN, G., SCHWEIGER, P., SCHOLL, W. u. R. SCHMID 1981: Grundbelastung der Böden von Baden-Württemberg mit Schwermetallen. Landwirtschl. Forsch., Sonderheft 38, S. 324—337, Frankfurt a. M.
- (24) HERMS, U. u. G. BRÜMMER 1980: Einfluß der Bodenreaktion auf Löslichkeit und tolerierbare Gesamtgehalte an Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium und Blei in Böden und kompostierten Siedlungsabfällen. Landwirtschl. Forsch. 33, S. 408—423, Frankfurt a. M.
Dies.: Einflußgrößen der Schwermetalllöslichkeit und -bindung in Böden. Ztschr. Pflanzenernährung. Düngung u. Bodenkd. 147, S. 400—424, 1984.
- (25) WERTH, Th. 1989: Auswirkungen thermischer Behandlungsverfahren zur Dekontamination von Böden. Unveröff. Diplomarbeit. Geogr. Inst. d. Ruhr-Univ. Bochum
- (26) SUKOPP, H., BLUME, H. P., ELVERS, H. u. M. HORBERT (Hrsg.) 1980: Beiträge zur Stadtökologie von Berlin (West), Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 3, Techn. Univ. Berlin, Berlin.
SUKOPP, H. et al. 1981: Liste der wildwachsenden Farn- und Blütenpflanzen von Berlin (West). Der Landesbeauftragte f. Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), Berlin.
SUKOPP, H. 1984: Ökologische Charakteristik von Großstädten. Grundriß der Stadtplanung. Akademie f. Raumforschung u. Landesplanung, S. 51—82, Hannover.
- (27) GÖDDE, M. 1987: Die Stadt als Gegenstand vegetationskundlicher Erkundung. Geographische Rundschau 39, H. 5, S. 254—259.
- (28) SUKOPP, H. u. S. WEILER 1986: Biotopkartierung im besiedelten Bereich der Bundesrepublik Deutschland. Landschaft + Stadt 18, H. 1, S. 25—30.
SCHULTE, W., SUKOPP, H., VOGGENREITER, V. u. P. WERNER (Redaktion) 1986: Flächendeckende Biotopkartierung im besiedelten Bereich als Grundlage einer ökologisch bzw. am Naturschutz orientierten Planung. Natur und Landschaft 61, H. 10, S. 371—389.
- (29) SCHULTE, W. 1985: Florenanalyse und Raumbewertung im Bochumer Stadtbereich. Materialien zur Raumordnung. Bd. 30, Bochum.
SCHULTE, W. 1985: Modell einer stadtökologischen Raumgliederung auf der Grundlage der Florenanalyse und Florenbewertung. Natur und Landschaft 60, Jg., S. 103—108.
- (30) HARD, G. u. G. OTTO 1985: Die vegetationsgeographische Gliederung einer Stadt. Erdkunde, Bd. 39, H. 4, S. 296—306.
HÜLBUSCH, K. H. 1978: Kartierung der Vegetation in Siedlungsgebieten. In: Tüxen, R. (Hrsg.): Assoziationskomplexe. S. 321—327 und 351—355, Vaduz.
KIENAST, D. 1980: Sigma-Gesellschaften der Stadt Kassel. Phytocoenologia 7, S. 65—72.
- (31) WIEMANN, H. 1986: Bergsenkungsbedingte Veränderungen im Em-scherbruch — Landschaftsschäden oder wertvolle Biotope? Unveröff. Diplomarbeit, Geogr. Inst. d. Ruhr-Univ. Bochum.

WEITERE LITERATUR ZUM THEMA

- ADAM, K. 1985: Die Stadt als Ökosystem. Geographische Rundschau 37, H. 5, S. 214—233.

- ADAM, K. u. T. GROHE (Hrsg.) 1984: Ökologie und Stadtplanung. Köln.
- BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUM-
ORDNUNG (Hrsg.) 1985: Boden — das dritte Umweltmedium. Beiträge
zum Bodenschutz. Forschungen zur Raumentwicklung Bd. 14, Bonn.
- JESSBERGER, H. L. (Hrsg.) 1986: Überblick über Sanierungsmöglichkeiten
von Altlasten und kontaminierten Standorten. In: Altlasten und kontami-
nierte Standorte — Erkundung und Sanierung. S. 71—86. Seminar Bo-
chum.
- TESDORPF, J. C. 1984: Landschaftsverbrauch. Berlin/Vilseck.