

Ber. z. dt. Landeskunde	Bd. 67, H. 2, 1993, S. 267—298	Trier
-------------------------	--------------------------------	-------

Martin HÜTTER, Bochum

## Böden und Bodengesellschaften des Ruhrgebiets\*

### 1. Einführung: Böden als dynamische Teilsysteme der Landschaft — was sie leisten, was sie aussagen

Böden erfüllen vielfältige Funktionen im Landschaftshaushalt. Als Speicher und Quellen von Nährstoffen und Senken für Schadstoffe sind sie grundlegend für das Gedeihen sowohl der natürlichen Vegetation als auch von Kulturpflanzen. Sie stellen den Lebensraum für Bodenorganismen, den Biokatalysatoren wichtiger Stofftransformationsprozesse, dar. Niederschlagswasser wird durch den bodenspezifischen Fließwiderstand teils als Haftwasser gegen die Schwerkraft festgehalten, so daß es Nährstoffmittler für die Lebewelt ist, teils als langsam bewegliches Sickerwasser gut gefiltert dem Grundwasser zugeführt, so daß es als wertvolles Quellwasser Oberflächengewässer speisen oder über Brunnenanlagen als Trinkwasser gefördert der menschlichen Ernährung dienen kann.

Böden sind Landschaftselemente. Im Bodenkörper spiegelt sich das aktuelle, oft auch das vergangene Zusammenspiel der bodenbildenden Faktoren wider. In der Landschaft treten Areale einheitlicher Bodengestalt (Pedotope) zu landschaftstypischen Bodengesellschaften (Pedochoren) zusammen. Diese stellen kein isoliertes Nebeneinander ihrer Bausteine dar, sondern in ihnen sind die Pedotope durch stoffliche oder energetische Beziehungen so eng miteinander verknüpft, daß vielfach der aktuelle Bodenzustand nur in Kenntnis dieses Beziehungsgefüges verstanden werden kann.

Die Bildung von Raseneisenstein oder Wiesenkalk als Ausfällungsprodukte vergleyter Senkenböden zum Beispiel wird sofort verständlich, wenn umgebende Hochflächen als Quellen von Sesquioxiden oder Calciumkarbonat eine intensive Podsolierung bzw. starke Verkarstung erkennen lassen (SCHLICHTING 1965). Stagnogley und Ockerbraunerde auf den Missenstandorten des Buntsandstein-Schwarzwaldes, flachgründige Oberhang-Pararendzinen und tiefgründige Unterhang-Kolluvien aus Löß der Bördenzone oder Podsol und Grauer Plaggenesch im Nordwestdeutschen Geestgebiet sind weitere Beispiele einer regelhaften Vergesellschaftung von funktional verknüpften Pedotopen.

Selbst wenn als Folge menschlicher Eingriffe in den Landschaftshaushalt —

\* Meinem Lehrer Herrn Prof. Dr. H.-J. Klink zum 60. Geburtstag gewidmet.

zum Beispiel durch flächenhafte Grundwasserabsenkung — die aktuelle Bodenentwicklung eine andere Richtung einschlägt, bleiben der Raseneisenstein oder der Wiesenkalk als reliktsche Bodenmerkmale eine mehr oder weniger lange Zeit erhalten. Böden besitzen folglich als Abbild des Zusammenspiels der bodenbildenden Faktoren einerseits einen hohen Diagnose-Wert in der Gegenwart, andererseits sind sie landschaftsgeschichtliche Urkunden.

Beträfe der Landschaftswandel im angegebenen Beispiel aber nicht (nur) den Senkenboden sondern (auch) die obig charakterisierten perkolationsintensiven Hochflächen zum Beispiel im Sinne einer Intensivierung der Landnutzung, so bedeutete dies für den Podsol-Pedotop vielleicht eine Abholzung eines Eichen-Birken-Waldes zum intensiven Maisanbau mit Gülledüngung bzw. im Rendzina-Braunerde-Pedotop die Anlage eines Raps-Schlages. Mit hoher Sicherheit kann vorhergesagt werden, daß binnen kürzester Zeit Mineralstickstoff — besonders Nitrat — dem (ehem.) Transportweg des Eisens bzw. des Hydrogenkarbonates folgend den Senkenstandort belasten wird.

So tritt zum Diagnose-Wert des Bodens der hohe Prognose-Wert (SCHLICHTING 1986 b). Beide machen den Boden zu einem schützenswerten, seine vielfältigen ökosystemaren Funktionen darüber hinaus zu einem schutzbedürftigen Umweltmedium.

Wirksamer Bodenschutz bedarf der Kenntnis über Aufbau, Entstehung und Entwicklung des Bodenkörpers im Kontext seiner nachbarschaftlichen Beziehungen. Dies kann nur eine flächenhafte Bodenkartierung leisten. Bodenkartierung als Mittel des Bodenschutzes ist aber nicht nur in natürlichen oder mesohemeroben Landschaften (z. B. Agrarlandschaften) notwendig, sondern in besonderem Maße auch in nahezu vollständig mensch-organisierten polyhemeroben und metahemeroben Siedlungsökosystemen. Hier tritt der Mensch als bodenbildender Faktor und Steuerer der Bodenbildung dominant in Erscheinung.

Physiognomischer Ausdruck des menschlichen Wirkens ist hier die Flächennutzung bzw. das Flächennutzungs mosaik, das aus dem Wechselspiel der Kräfte „Erfüllung der Daseinsgrundfunktionen des einzelnen oder der Gemeinschaft“ und der institutionalisierten Raumplanung und Raumordnung resultiert (s. a. REINIRKENS 1991). Dennoch ist ein Areal gleicher Flächennutzung nicht a priori ein Pedotop. Dazu ist häufig die innerere Heterogenität zu stark.

Die junge Teildisziplin der Bodenkunde, die Stadtbodenkunde, befindet sich derzeit noch in der Erprobungsphase einer jüngst entwickelten Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenmerkmalen und zur Systematik von Böden im geschlossen besiedelten Raum. Bisher liegen erst wenige großmaßstäbliche Bodenkartierungen vor (z. B. Kiel (CORDSEN et al. 1988), Bochum (REINIRKENS 1991), Berlin (GRENZIUS 1987), Herne-Sodingen (Geolog. Landesamt NW in Vorbereitung).

Erste stoffhaushaltliche Untersuchungen an Siedlungsböden sind für bestimmte Boden-/Substrattypen (z. B. Böden auf Halden und Deponien) und Flächennutzungstypen (z. B. Böden von Kleingärten, Böden auf Sportplätzen) durchgeführt worden. Die stofflichen Beziehungen zwischen Pedotopen im Siedlungsraum allerdings sind noch weitgehend unerforscht.

In diesem Beitrag soll ein Überblick über Böden und Bodengesellschaften des Kernraumes des Ruhrgebietes gegeben werden. Dieser umfaßt den Raum zwischen Ruhr und Lippe, ist westlich durch die Niederterrassenbereiche des Rheins begrenzt und reicht östlich etwa bis zu den Städten Dortmund/Unna.

Das Ruhrgebiet als eine der größten Städtereionen der Welt ist ein in sich heterogen strukturierter Wirtschaftsraum, aber keine naturräumlich definierte Einheit. Die größte Siedlungs- und Industriedichte findet man in der Hellweg- und der Emscherzone. In der ältesten Zone des Bergbaus — der Ruhrzone — und der jüngsten Zone — der Lippezone — treten neben Siedlungsflächen auch in stärkerem Maße Wald- und landwirtschaftliche Nutzflächen auf. Dementsprechend gibt es auch einen Gradienten der Intensität anthropogenen Einflusses auf die Bodenentwicklung.

Im folgenden werden die Böden und deren Vergesellschaftung im Ruhrgebiet zunächst für die nicht geschlossen besiedelten Gebiete nach regionalen Bodengesellschaften getrennt dargestellt, wobei versucht wird, den stofflichen Beziehungen zwischen Pedotopen gerecht zu werden. Anschließend werden wichtige und charakteristische Stadtböden des Ruhrgebietes im Zusammenhang mit Flächennutzungstypen beschrieben. Damit soll ein Überblick über die Böden eines Verdichtungsraumes gegeben werden, der zu systematischen großmaßstäblichen Detailkartierungen und stoffhaushaltlichen Analysen anregen soll. Diese sind propädeutisch für einen wirksamen und umfassenden Bodenschutz, der im Siedlungsraum im besonderen auch als Bodenfunktionsschutz aufgefaßt werden sollte.

## 2. Naturräumliche Einordnung des Ruhrgebiets

Das Ruhrgebiet hat Anteil an mehreren großen Naturräumen, dem Rheinischen Schiefergebirge im Süden, der Münsterländer Kreidebucht im Norden und im Westen an dem Niederrheinischen Tiefland. Steigt im Süden des Ruhrgebiets das Ardey-Gebirge noch bis knapp 280 m über NN auf, so liegt bei einer generellen Abdachung nach Norden hin die Lippeaue in einem Niveau von 25—40 m über NN.

Das Ruhrgebiet gehört dem maritim beeinflussten ozeanischen bis subozeanischen Klimabereich an mit Niederschlägen zu allen Jahreszeiten (hydrol. Sommerhalbjahr 54 %, hydrol. Winterhalbjahr 46 %) bei Jahressummen von 700 mm im Niederrheingebiet bis 900 mm im Süden. Mit Jahresmitteltemperaturen von 9° C in den höheren Lagen bis 10,5° C im Agglomerationsraum der Emscher- und Hellwegzone ist das Klima humid. Die Jahresverdunstungswerte nach HAUDE liegen demgegenüber in der Größenordnung von 500 bis 550 mm (MURL 1989), die Gebietsverdunstung nach SCHREIBER (1975) bei 390 mm. Damit ist auf den meisten, vor allem aber auf den sandigen und skelettreichen Substraten im hydrologischen Winterhalbjahr eine intensive Perkolation gegeben, die zur Stoffauswaschung aus Böden und zur Grundwasserneubildung beiträgt.

Als Ausgangsgesteine der Bodenbildung treten nur an wenigen Stellen mesozoische oder paläozoische Festgesteine auf. Größtenteils handelt es sich um

quartäre Lockersedimente. Dazu zählen besonders im nördlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges (Mülheim bis Dortmund) die pleistozänen Hangschuttdecken, im Raum der nördlich sich anschließenden Hellwegbörden der zum Teil ebenfalls umgelagerte Löß, der die geologische Transgressionsgrenze der oberkretazischen Sedimente zum liegenden Oberkarbon kaum in Erscheinung treten läßt, im Ruhr-, Emscher-, Lippe- und Rheintal die pleistozänen und holozänen Terrassen- und Auensedimente, und im Raum zwischen Emscher und Lippe drenthekaltzeitliches Grundmoränenmaterial, das teils von Geschiebedecksand, teils von Löß- oder Sandlöß überdeckt ist. Im Bereich der Haard und der Hohen Mark bilden mesozoische Sedimente, nämlich wenig bis nicht verfestigten Quarzsande des Santon/Campan, die sogenannten Halterner Sande, das Ausgangsgestein der Bodenbildung. Quartäre Umlagerungen durch äolische Prozesse (Dünenbildung) und Solifluktion sowie die Einmischung von Sandlöß indizieren auch hier die jüngeren Beeinflussungen des bodenbildenden Substrats.

### 3. Böden und Bodengesellschaften des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges und des Ruhrtals

Am Südrand des Ruhrgebietes stehen die variszisch gefalteten und flözführenden oberkarbonischen Gesteine des Namur und Westfal (Sprockhöveler-, Wittener-, Bochumer-, Essener Schichten) oberflächlich an. Faziell handelt es sich um Schiefertone, Silt- und Sandsteine, zum Teil auch um silikatische Konglomerate, in die Steinkohleflöze unterschiedlicher Mächtigkeit eingeschaltet sind. Die ausgeprägten Faltenstrukturen mit Sätteln und Mulden streichen südwest-nordöstlich. Der Ausbiß der morphologisch widerständigen Sandsteine, die zum Teil ein quarzitisches Bindemittel aufweisen, gibt zur Ausbildung von schmalen Rücken und Hangversteilungen Anlaß und ist damit meist reliefprägend. Ausstreichende Schiefertone und Siltsteine ergeben dagegen stärker abgerundete Formen, die allerdings dort, wo das rückschreitend gegen die Hebung des Rheinischen Schiefergebirge erodierende Gewässernetz sich tief einschneidet, durchaus Hangneigungen von über 30—35° hervorbringen können.

Durch periglaziale Prozesse der Frostsprengung und der Solifluktion während der letzten Eiszeit (Weichsel/Würm) ist durch physikalische Verwitterung anstehendes Gestein gelockert und über gefrorenem Untergrund hangabwärts transportiert worden. Hochweichseiszeitlich ist darüber hinaus hier am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges Löß abgelagert worden, der in Spalten des Gesteins und alte Schuttdecken eindrang, sie bald vollständig überkleidete, selbst in Solifluktionsprozesse einbezogen wurde und spätweichseiszeitlich (jüngere Tundrenzeit) vom Oberhang her von jüngeren, meist sand- und skelettreicheren Schuttdecken<sup>1</sup> überzogen wurde.

Die Überlagerung des Festgesteins durch faziell differenzierbare Schuttdecken steuert wesentlich das Pedotopmuster und die Bodenvergesellschaftung in diesem Raum. An oberflächlich austreichenden Sandsteinrücken sind die Böden unter Waldbestockung als Folge hoher Einträge an säurebildenden Depositi-

nen und intensiver Perkolations des Niederschlagswassers stark entbast und in der Regel podsoliert. Der Leitbodentyp ist der Braunerde-Podsol in Verzahnung mit Podsol-Braunerden, die bei stärkerer Lößeinwehung in podsolierte Braunerden übergehen können. Bei sehr starker Hangneigung und stetiger Fortführung von Feinerdematerial treten örtlich auch Podsol-Ranker oder gar Festgesteins-Silikat-Syroseme auf. Auf breiteren Rücken mit austreichenden Schiefertönen entwickeln sich mittelgründige Braunerden oder Ranker-Braunerden.

Gemeinsames Merkmal dieser Böden ist die tiefgründige Versauerung des Feinbodens bis in den Aluminium-Pufferbereich (Definition s. ULRICH 1981) bei Basensättigungen bezogen auf die effektive Kationenaustauschkapazität (KAKe) von < 10—15 Prozent. Windexponierte Rücken- und Oberhangstandorte neigen stark zur Laubdeflation, so daß Verhagerung und Humusdisproportionierung die Versorgung mit Makronährelementen zusätzlich erschwert (KREFT 1992; v. BUCH u. MEYER-STEINBRENNER 1988). Gleichzeitig sind dies die Standorte, die im Vergleich zu allen anderen Standorttypen heute die höchsten Depositionsraten säurebildender Luftverunreinigungen erhalten (von ZEJSCHWITZ 1985; HÜTTER 1992).

Das in die tonarmen Böden rasch infiltrierte Niederschlagswasser zieht als saures, nährstoffarmes Sickerwasser im Verwitterungsmaterial besonders an der Grenze Hauptfolge/Basisfolge hangabwärts und beeinflußt die unterhalb liegenden Kontakt-Pedotope der Braunerden und (Phäno-)Parabraunerden aus der lößreichen, skelettärmeren Hauptfolge nur im Unterboden und zwar entweder als Pseudovergleyung auch in der Morphe sichtbar oder nur als Zuschuß pflanzenverfügbaren Wassers ohne Redoximorphismen. Häufig auftretende Bodenarten in diesen Pedotopen sind schwach bis stark tonige Schluffe, seltener sandige Schluffe. Falls ein deutlicher Hangknick zum Oberhang ausgebildet ist, kann bereits hier die erodierte Humusaufgabe des Rückenstandortes akkumulieren. Die Humusform auf Normalstandorten ohne Einwehungs- oder Einspülungsakkumulationen ist meist ein feinhumusarmer bis feinhumusreicher typischer Moder. Auch auf diesen feinsubstanzreichen und mittel- bis tiefgründigen Standorten tritt Podsolierung oder Podsoligkeit fast stets auf und ist um so intensiver, je mächtiger die hier auskeilende sandreichere Deckfolge ausgebildet ist. Tiefgründige Entbasung und pH-Werte des Aluminium- bis Austauscherpufferbereichs bleiben zwar kennzeichnend für den bodenchemischen Zustand, aber im Gegensatz zum Oberhang oder Rücken tritt bei hoher nutzbarer Feldkapazität (nFk) im Sommer kaum Bodentrockenheit auf.

Zum Unterhang hin nimmt die Tendenz zur Pseudovergleyung zu, doch sind echte Pseudogleye in Hanglage aufgrund der recht guten Drainage durch skelettreichere Schuttdecken im Untergrund selten. Sie müssen selbst bei einer großmaßstäblichen Kartierung mit den Gley-Kolluvien und Pseudogley-Braunerden der Hänge der Talböden zu einer Kartiereinheit vereinigt werden. Die grundwasserbeeinflussten Standorte besitzen eine nur schwach saure Bodenreaktion, weil das gering mineralisierte Grundwasser puffernd wirkt.

Abweichungen von dieser regelhaften Standortfolge am Hang können sich kleinräumig durch den Ausbiß von Kohleflözen ergeben, wo Steinkohle in die Schuttdecken eingearbeitet wurde oder durch Kohleabbau und lokale Verarbeitung Kohlegrus und Aschen flächig den Oberboden überkleiden (z. B. Kalwes,

Bochum) und auf den ersten Blick mächtige Oh-Lagen vortäuschen. Weitere Modifizierungen ergeben sich durch ausgedehnte Pingenfelder auf Kohle und Eisenerz, die der Verfasser am Ebberg (Schwerte-Westhofen) untersuchen konnte. Hier finden sich auf Flächen von einigen Hektar keine natürlich gelagerten Böden mehr.

Auf Hangverflachungen kommen auch ohne lateralen Wasserzustrom primäre Pseudogleye auf Löß über verwittertem Schiefertone vor. Sie sind dort besonders gut entwickelt, wo der Schiefertone eine söhlige Lagerung einnimmt. Diese Pseudogley-Pedotope sind hier flächig mit Pseudogley-Braunerde- und Braunerde-Arealen verzahnt.

Sind in Plateau- oder Dellenlage Verwitterungsreste tertiärer Bodenbildung (Plastosole) erhalten geblieben, reicht örtlich die positive klimatische Wasserbilanz sogar aus, um auf diesen versickerungsgehemmten Standorten die Bildung von Übergangsmooren einzuleiten. Eine solche Singularität ist im Waldmoor des Fürstenberger Holzes (Dortmund-Hörde) entwickelt.

Braunerden aus lößlehmreichem Hangschutt werden im südlichen Teil des Ruhrgebiets nicht nur forstlich, sondern auch landwirtschaftlich genutzt. Als Folge von Kalkung, Düngung und Bodenbearbeitung sind die bodenchemischen und bodenphysikalischen Eigenschaften gegenüber Varianten unter Wald stark verändert. Der Säure-/Basenstatus liegt im schwach sauren bis neutralen Bereich, und die Böden enthalten große Vorräte leicht pflanzenverfügbarer Nährstoffe. Sehr skelettreiche Pedotope sind besonders unter ackerbaulicher Nutzung stark auswaschungsgefährdet, so daß die im Sickerwasser gelösten Nährstoffe Nachbarpedotope oder das Grundwasser eutrophieren können. Auf weniger stark skelettreichen Ackerböden treten bereits bei Geländeneigungen  $> 3^\circ$  während der winterlichen Schneeschmelze deutlich sichtbare Feststofftransporte durch Oberflächenwasser auf.

Die hier beschriebenen Bodengesellschaften aus unterschiedlich skelettreichen Schuttdecken werden im Süden begrenzt durch das Ruhrtal. Die höher gelegenen Mittelterrassenreste weisen wegen ihrer verbreiteten Lößlehmüberkleidung und der Verzahnung mit Hangschuttmaterial eine weitgehende Übereinstimmung mit dem Pedotopeninventar der zuvor beschriebenen Bodenvergesellschaftung auf. Eine abweichende Bodenvergesellschaftung zeigt sich demgegenüber in der breiten Ruhraue.

Im Auenbereich der Ruhr sind mächtige Sedimentpakete aus tonigem Schluff oder sandigem Lehm als sogenannte Hochflutlehme fluvial aufgeschüttet worden. Sie bilden das Ausgangsmaterial der verbreitet auftretenden, meist landwirtschaftlich genutzten Braunen Auenböden, die im Unterboden meist nur schwach vergleitet sind. Der Grundwasserflurabstand der Auenböden korrespondiert mit der talsperrenregulierten Wasserführung der Ruhr. Besonders im Bereich der vielen Wassergewinnungsanlagen ist der Grundwasserspiegel künstlich abgesenkt und der Boden durch Baumaßnahmen stark verändert. Im Unterlauf der Ruhr kommen örtlich auch Gebiete mit bergsenkungsbedingten Vernässungen vor (s. a. Kap. 5 u. 7). Während winterlicher und frühjährlicher Hochwassersituationen kann im randlichen Bereich der Aue Hangdruckwasser zu starken Vernässungen und Luftmangel im Bodenprofil führen. Insgesamt

herrscht die Bodenvergesellschaftung von grundwasserfernen Braunen Auenböden mit echten Gleyen unterschiedlichen Vernässungsgrades vor.

Die Abgrenzung der regionalen Bodengesellschaft des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges zum nördlich sich anschließenden Pedotopmuster der westlichen Hellwegböden ist eher fließend und kann nicht linienscharf angegeben werden.

#### 4. Böden und Bodengesellschaften der westlichen Hellwegböden

Nördlich an die regionale Bodengesellschaft der Braunerden aus mehr oder weniger lößlehmreichen Schuttdecken oberkarbonischer Gesteine schließt sich in einer west-östlich verlaufenden, von 4 km bei Duisburg auf 8 km bei Dortmund sich verbreiternden Zone der geschlossene Sedimentationsraum hochweichselezeitlichen Lösses an. Der Löß überdeckt am südlichen Rand der Hellwegböden noch oberkarbonische Gesteine in Mächtigkeiten von 8—15 dm, im größten Teil jedoch die nordwärts einfallenden, aufgebogenen oberkreidezeitlichen Kalke und Kalkmergel des Cenoman und des Turon. Hier kann die Mächtigkeit des Lösses 3—5 m, zum Teil bis nahe 10 m erreichen. Zwischen den oberkreidezeitlichen Sedimenten und dem Löß liegt eine unterschiedlich mächtige, aber verbreitet auftretende Schicht aus drenthestadialen Geschiebemergel, der oberflächlich entkalkt wurde und zu Geschiebelehm verwitterte.

Das Relief der Hellwegböden ist mäßig bewegt und insgesamt nach Norden hin zum Emschertal abfallend. Kleine emschertributäre Bachläufe als lokale Vorfluter, die aus sogenannten Siepen hervorgehen, gliedern das Gelände.

Die hohe Güte der Böden aus Löß machte die Hellwegböden<sup>2</sup> zu einem sehr alten Siedlungsraum, dessen lichte Wälder von den Ackerbauern früh gerodet und unter landwirtschaftliche Nutzung genommen wurden. Infolge des aufkommenden Bergbaus, der Eisengewinnung und Stahlerzeugung entwickelte sich aus den dörflichen Kristallisationskernen oder in deren Nachbarschaft vor allem im 20. Jahrhundert ein großer städtischer Verdichtungsraum. Bodengesellschaften aus Böden mit naturnahem Aufbau findet man in der Hellwegböden fast nur noch in den Resten der sogenannten „Regionalen Grünzüge“, die in den 20er Jahren des Jahrhunderts ursprünglich vom Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk (SVR; später KVR) als „Abstandsgrün“ zwischen den expandierenden Siedlungsflächen der Städte (z. B. Duisburg, Essen, Bochum, Dortmund) ausgewiesen wurden.

Während der holozänen Bodenentwicklung entkalkten die ursprünglich 5—20 Prozent  $\text{CaCO}_3$  enthaltenden Lösses; Entbasung, Verbraunung und Verlehmung setzten ein. Tonwanderung in den Grobporen mit dem Sickerwasserstrom von oben nach unten führte zur Ausbildung von Parabraunerden mit dem Korngrößenspektrum schwach toniger bis stark toniger Schuff (Ut<sub>2</sub>-Ut<sub>4</sub><sup>3</sup>). Typisch für die Parabraunerden im westlichen Teil der Hellwegböden sind relativ geringe Tongehaltsunterschiede zwischen dem Al- und dem Bt-Horizont. So sind echte

Parabraunerden mit Braunerde-Parabraunerden vergesellschaftet. Da ein großer Teil der Löss- und Lößböden spätweichseiszeitlich, zum Teil auch noch im Holozän umgelagert wurden, treten wohl auch Phäno-Parabraunerden auf, die aber auch im Rahmen der amtlichen großmaßstäblichen Bodenaufnahme durch das Geologische Landesamt NW nicht getrennt ausgewiesen werden konnten.

Örtlich wurde die Auskleidung der Grobporenbahnen mit Toncutanen im Unterboden so vollkommen, daß der schon körnungsbedingt große Mittelporenanteil weiter zunahm und sich staunässebeeinflusste BtSd-Horizonte oder auch haftnässebeeinflusste BtSg-Horizonte einstellten. Dort, wo die Lößlehmmächtigkeit so gering ist, daß die tonig verwitternde Geschiebelehmoberfläche direkt auf die Bodenentwicklung Einfluß nimmt, entwickelten sich primäre, das heißt geschichtete Pseudogleye, in denen der Geschiebelehm den IISd-Horizont bildet. Die Tiefenlinien in dieser Landschaft, sofern nicht anthropogen durch Auffüllung beseitigt, kleiden Schwemmlöß-Kolluvien aus, die in unterschiedlichem Maße vergleht sind.

In den nicht geschlossen besiedelten Gebieten der Hellwegbörde treten Wälder im Nutzungstypengefüge nur kleinräumig auf. Ihre Areale beschränken sich meist auf Standorte mit Wasserstau oder eher hängige Lagen. Unter Waldbestockung geht die Bodenentwicklung aus Löß über das Parabraunerde- oder Pseudogley-Stadium hinaus in Richtung Fahlerde, podsolierte Parabraunerde bzw. podsolierter Pseudogley. Als Folge natürlicher Entbasung des an leicht verwitterbaren Mineralreserven armen Lößlehms unter einem humiden Klimaregime und besonders wegen des seit mehr als 100 Jahren erfolgenden Eintrags saurer Depositionen sind die Bodengesellschaften unter Waldbestockung in starkem Maße versauert. Landesweite Bodenuntersuchungen von GEHRMANN et al. (1987) sowie eigene Detailerhebungen zum bodenchemischen Zustand im Bochum/Herner Raum belegen, daß Wald-Oberböden aus Lößlehm bei pH-Werten im Austausch- bis Aluminium-Pufferbereich Calcium-Sättigungen an der KAKE von 6–12 Prozent, im Unterboden durchgängig unter 10 Prozent — bei GEHRMANN et al. (1987, S. 28) sogar unter 5 Prozent — besitzen. Im Gegensatz zu den ebenfalls extrem versauerten Schiefergebirgslehmen weisen die Lößlehme im Oberboden geringere Aluminium-Sättigungen an den Austauschern (meist ca. 50–60 %), dafür aber höhere Wasserstoffionen- und Eisen-Sättigungen (ca. 35–40 %) auf. Im humusfreien Feinboden unterscheiden sich diese beiden Substratgruppen dadurch, daß die Schiefergebirgslehme wegen ihrer meist höheren KAKE auch über größere Vorräte austauschbaren Aluminiums verfügen. Dies kann zum weiteren Beleg der geringen Reserven leicht verwitterbarer Minerale des Lößlehms und der damit zusammenhängend niedrigeren Pufferrate für bodenbürtige und in den Boden eingetragene Säuren gereichen<sup>4</sup>. Nichtsdestoweniger sind die Ca/Al — Verhältnisse in der Bodenlösung der meisten untersuchten Böden so eng, daß Aluminiumtoxizität für die Feinwurzeln der Hauptwirtschaftsbaumarten (Fichte, Buche, Eiche) auftreten kann (gemäß Einstufung von ROST-SIEBERT 1985). Die charakteristische Humusform ist der typische Moder. Selbst Übergangsformen zum rohhumusartigen Moder treten unter ungünstigen Belichtungsverhältnissen des Waldbodens auf.

Unter landwirtschaftlicher Nutzung allerdings leiten Braunerden und Para-

braunerden aus Löß mit Bodenzahlen von 60–80 zu den „Spitzenreitern der steuerlichen Bodenbewertung“ — den Schwarzerden — über. Die hohe nutzbare Feldkapazität und das gute Transfervermögen bodenbürtiger und gedüngter Nährstoffe zu den Pflanzenwurzeln sind die wesentlichen Gründe ihrer hohen Güte. Bodenbearbeitungsmethoden, die zur starken Krümenlockerung und zur Bodenverdichtung im Bereich der Pflugsohle führen, lassen einerseits den Humus durch Mineralisierung schwinden, so daß Tonteilchen im ohnehin lessivierten Oberboden besser dispergierbar werden und Gefügezerfall einsetzt, und behindern andererseits die Tiefenversickerung des Wassers, so daß der laterale Wassertransport an Bedeutung gewinnt. Verschlammung und verstärkte Erosionsdisposition sind die Folgen. Flächen, die über lange Zeit hinweg unter ackerbaulicher Nutzung stehen, geben schon bei geringen Hangneigungen Bereiche mit Erosion und gekappten Bodenprofilen einerseits und korrele Kolluvien an den unteren Hangpartien andererseits zu erkennen. Hieraus resultieren weitere, auch nährstoffhaushaltlich relevante Modifikationen im Pedotopmuster der Hellwegbörde.

Bedingt durch den Kohleabbau unter dem mesozoischen Deckgebirge kommt es besonders im Norden der Bördenzone zu flächenhaften Bergsenkungen, das heißt, die Geländeoberfläche erniedrigt sich durch Nachbrechen des Festgesteins in bergtieftaubedingte Hohlräume. Die Folge ist, daß der Grundwasserflurabstand sinkt und damit Bodenvernässungen bis zum Auftreten von Blänken einhergehen können. Kleinräumig wird das natürliche Pedotopmuster dadurch grundlegend geändert. Da die Konsequenzen der Bergsenkungen im Bereich des Emschertales besonders kraß sind, soll dort noch näher darauf eingegangen werden.

## 5. Böden und Bodengesellschaften der Emscherniederung

Im breiten Niederungsgebiet der Emscher, das eine Höhenlage von 30–50 m aufweist, sind Sande und lehmige Sande im Auen- und Niederterrassenniveau fluvial aufgeschüttet worden. Im Untergrund lagert drenthestadialer Geschiebelehm und wasserundurchlässiger Kalkmergel des Coniac und des untersten Santon (Emscher). Aufgrund der sehr hohen Besiedlungsdichte in der sogenannten Emscherzone und dem verbreiteten Auftreten von Halden und Deponien sind im Gefügemuster der Pedotope Böden mit naturnahem Aufbau flächenmäßig kaum mehr relevant.

Der Bergtieftaubau auf Kohle führte in diesem Gebiet zu Bergsenkungen mit besonders drastischen Folgen für den Landschaftswasserhaushalt und somit natürlich auch für die Böden. Stellenweise erreichen die Bergsenkungen ein Ausmaß von mehr als 12 m. Dadurch daß die Senkungsbeträge kleinräumig sehr uneinheitlich sind, ist die Vorflut der Emscher und seiner Nebenbäche stark gestört, Senkungssümpfe bildeten sich aus. Früher Brutstätten von Seuchen werden sie heute wegen ihrer großen Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz

zum Teil als Naturschutz- oder Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen (Hallerey, Dortmund; Voßnacken, Herne; Beversee, Werne) s. a. Kap. 6. Die Vorflutregulierung der Fließgewässer ist als Voraussetzung für die Abwasserabführung ein „ständiger Kampf mit dem sinkenden Land“ (DEGE 1976, 118). Vertiefung der Bachsohle, der Bau von Deichen und der kontinuierliche Betrieb von Pumpwerken sind notwendig, um diese Poldergebiete im Emscherraum wasserfrei zu halten. So ist es besonders der Grundwasserflurabstand, der das Pedotopmuster naturnaher Böden in der Emscherniederung steuert.

Aufgrund der sandigen Bodenmatrix sind grundwasserfernere Böden des Auen- und besonders des Niederterrassenbereichs unter Wald oberflächlich versauert und podsoliert. In der Hydrosequenz stehen Gley-Podsole und Podsol-Gleye aus fluvialen und äolischen Sanden; stärker verlehmt Sande leiten zur Braunerde-Gley-Sequenz über. Dort, wo wenig wasserdurchlässiger Geschiebelehm oder Emschermergel oberflächlich anstehen, treten auch Staunässeerscheinungen auf. Gebiete, die noch in stärkerer Absenkung begriffen sind, weisen eine Zunahme der Vergleyungstendenz auf, wobei unter Wald der Bodenentwicklungsprozeß der Podsolierung aufgrund der puffernden Wirkung des Grundwassers und der fehlenden Perkolation abnimmt; die laterale und die ascendierende Wasserbewegung und Stoffverlagerung gewinnen an Bedeutung. Unter landwirtschaftlicher Nutzung stehende Böden weisen schon düngungsbedingt keine aktuellen Podsolierungsprozesse auf. Die in der Hydrosequenz auf dem feuchten Flügel stehenden Gleye und stark wechselfeuchten oder gar wechsellässigen Pseudogleye werden in der Regel grünlandwirtschaftlich genutzt und neigen während ihrer Naßphasen stark zum Prozeß der Denitrifikation. Nur die sommerlich oberflächlich stärker abtrocknenden Standorte lassen eine ackerbauliche Nutzung zu, wobei besonders die relativen Flächenanteile des Mais expandieren.

Auf Böden, deren Grundwasserflurabstand künstlich abgesenkt wird, verstärkt sich die Perkolation, so daß auf sorptionsarmen Standorten Podsolierungsprozesse und auf landwirtschaftlich genutzten Flächen die vertikale (Nähr-)Stoffverlagerung intensiviert wird. Dort, wo ehemals stark vernäßte und gleichzeitig metallsulfidhaltige Böden durch Entwässerung besser belüftet werden, ist auch eine autogene Versauerung durch Sulfidoxidation möglich.

Die Bodenvergesellschaftung der Emscherniederung ist noch mehr als die der Hellwegbörde durch Böden anthropogener Lithogenese bestimmt und wird daher im Kapitel 8 „Anthropogene Böden und Bodengesellschaften im Ruhrgebiet“ in besonderer Weise zu berücksichtigen sein.

## 6. Böden und Bodengesellschaften im Raum zwischen Emscher und Lippe

In diesem Raum werden verschiedene, zum Teil verhältnismäßig kleinräumige Bodenvergesellschaftungen zusammengefaßt, die sogar im einzelnen unterschiedlichen naturräumlichen Haupteinheiten zugeordnet werden (v. KÜRTE 1977). Ausschlaggebend für die hier vollzogene Differenzierung sind grundsätzliche Unterschiede im bodenbildenden Substrat.

## 6.1 Löß- und Sandlößgebiete im Raum des Vestischen Sattels

Nördlich der Emscher-Niederung im Bereich des Vestischen Sattels (75—100 m ü. NN) sind über dem santonischen Sandmergel der Recklinghäuser Schichten und den auflagernden Sedimenten des drenthestadialen Eisvorstoßes (Geschiebelehm, Nachschüttsande) in einer sich WSW-ENE erstreckenden Zone von Gelsenkirchen-Buer über Recklinghausen bis Bork 0,5—1,5 m mächtige Löß- bzw. Sandlöß-Sedimente abgelagert worden.

Der Anteil bebauter Fläche ist zwar auch hier groß, doch erreicht er längst nicht die Größenordnung des südlichen Emschertales.

In diesem mäßig reliefierten Raum herrschen Parabraunerden vor, die im Gegensatz zu den genetisch und stoffhaushaltlich sehr nahestehenden Parabraunerden der Hellwegbörde oft geringere Tongehalte besitzen, so daß deren Bodenart meist in die Klasse „schwach toniger bis toniger Schluff“ (Ut2, Ut3) fällt. Im Sandlöß ist der Sandanteil auf Kosten des Tonanteils noch weiter erhöht (Us). Aufgrund der relativ geringen Lößmächtigkeit über dem bindigeren Geschiebelehm oder dem Verwitterungslehm des Sandmergels sind die Parabraunerden im Unterboden oft pseudovergleyt (primärer Pseudogley). Zum Teil reicht schon der Abtropfwiderstand der Bt-Bänder aus, um Staunässe, mithin Redoximorphismen zu erzeugen (sekundärer Pseudogley). Die Parabraunerden treten in starker Vergesellschaftung mit geschichteten Braunerden und Pseudogley-Braunerden auf. Wegen der hohen nutzbaren Feldkapazität, des ausgezeichneten Nährstofftransfervermögens und der leichten Bearbeitbarkeit stehen die Parabraunerden aus Löß und Sandlöß weitflächig unter Ackernutzung. Die Bodenzahlen liegen zwischen 50—70. Geringe Tongehalte bei sehr hohen Schluffanteilen wirken sich ungünstig auf die Gefügestabilität aus, so daß besonders während winterlicher Brachezeiten eine hohe Gefahr der Bodenerosion besteht. Auf alten Ackerfluren ist daher kleinräumig eine innige Bodenvergesellschaftung mit Unterhang-Kolluvien zu verzeichnen. Auch in den nach Norden zur Lippe bzw. nach Süden zur Emscher hin entwässernden Tiefenlinien haben sich neben Gleyen Gley-Kolluvien entwickelt.

Waldflächen treten in dieser Landschaft zurück. Wo Waldbestände erhalten geblieben sind — dies ist vorwiegend auf den durch Staunässe beeinflussten Lagen der Fall — bilden sich oberflächlich stark versauerte podsolige bis podsolierte Braunerde-Pseudogleye oder Pseudogley-Braunerden. Nördlich von Recklinghausen bis Marl und westwärts bis Kirchhellen sich inselartig auflösend nimmt der abschlämmbare Feinbodenanteil weiter ab, das Filtergerüst wird bei Sandgehalten > 80 Prozent sehr grob. Hier ist Löß und Sandlöß schon stark von pleistozänen bis holozänen Flugdecksanden überlagert und es entwickelten sich geschichtete podsolierte Bänder-Parabraunerden oder Podsol-Braunerden. Da sie in ihren Eigenschaften den geschichteten Profilen aus Sanden über Geschiebelehm viel näher stehen, werden sie im folgenden Kapitel 6.2 zusammen mit diesen besprochen.

## 6.2 Böden stark sandiger quartärer Substrate meist mit geologischer Schichtung

Auf weiten Flächen zwischen dem Emscher- und Lippetal liegt über den oberkretazischen Schichten des Coniac und Santon drenthestadialer Geschiebelehm als entkalkte Fazies des Geschiebemergels. Über dem dichten, zum Wasserstau neigenden Geschiebelehm ist häufig eine kleinräumig in der Mächtigkeit stark variierende Schicht aus fluvial (Terrassensand), glazifluvial (Nachschüttsand), solifluidal (Talsand) oder äolisch (Flugsand) verlagerten Sanden sedimentiert worden. Das insgesamt ausgeglichene, durch Erosion und Sedimentation eingebnete Relief (40–50 m ü. NN) wird gegliedert durch ein stark verästeltes Netz schwach eingeschnittener kleiner Bachläufe. Gebiete, die durch spätweichseiszeitliche oder holozäne Dünenbildung gekennzeichnet sind (z. B. Dünengebiete bei Drevenack oder im Hünxer Wald) können durchaus ein bewegtes Mikrolief besitzen.

Das Pedotopmuster dieses weniger dicht besiedelten, verbreitet den Charakter einer Altmoränenlandschaft aufweisenden Raumes wird dominant von der bodenartenschichtungsbedingten Wasserdynamik geprägt. Standorte mit mächtigen Sanddeckschichten neigen unter Wald und dessen Degradationsgesellschaften (z. B. Heide) sehr stark zur Podsolierung und stehen in ihren bodenökologischen Eigenschaften Bodenbildungen aus Sandsteinen (s. Kap. 6.3) sehr nahe. Aus silikatreicheren Sanden der Terrassenablagerungen des Rheins (Königshardter Hauptterrassenplatte), aus flugsandarmen Lippeterrassen oder stark sandigem Geschiebelehmmaterial entwickelten sich saure Braunerden geringen bis mäßigen Podsolierungsgrades. Wenn die Sande in ihrer Bodenentwicklung zunächst das Parabraunerden — Fahlerde-Stadium durchliefen, können Tonanreicherungsbänder (Bbt) versickerungshemmend wirken, so daß im tieferen Untergrund Staunässemerkmale auftreten. Mit geringer werdender sandiger Deckschicht nehmen Prozesse, die an die Perkolation gebunden sind, weiter ab; Staunässeböden wie podsolierte bis podsolige Braunerde-Pseudogleye oder Pseudogleye treten im Pedotopmuster verstärkt in Erscheinung<sup>5</sup>. Deren Marmorierung lehnt sich vielfach an die räumliche Materialdifferenzierung durch eiszeitliche periglaziale Prozesse (z. B. Eiskeilbildung) an. Da sich Pseudogleye auch aus verwitterten kretazischen Sandmergelschichten entwickelt haben, kann ihre Trophiestufe von mesotroph bis oligotroph variieren.

In muldigen Lagen mit lateralem Wasserzuschuß sind kleinräumig trotz relativ geringer Jahresniederschlagsmengen Ansätze von Stagnogleybildung möglich. Im Übergang zu den Tiefenlinien nimmt zunächst die Pseudogleydyamik zu und verschneidet sich schließlich mit den grundwassergesteuerten Prozessen der Gleye und Gley-Kolluvien. Auf stärker vernäßten Standorten entwickelten sich auch Niedermoor-Gleye und Niedermoore.

Von grundwasserbeeinflussten Standorten abgesehen sind nahezu alle Pedotope mit Perkulations- oder Stauwasserdynamik unter Waldbestockung tiefgründig bis in den Aluminium- bis Austauscher-Pufferbereich hinein versauert. Nur dort, wo lokal oberkretazische Kalke und Mergel in die Bodenbildung einbezogen werden, wird im Wurzelraum der Bäume noch die Carbonat- bis

Silikatpufferung wirksam. Unter landwirtschaftlicher Nutzung stehende Böden spiegeln die für das jeweilige Bodenwasserregime typische Ausprägung stofflicher Translokations- und Transformationsdynamik wider. Je intensiver der Perkulationsstrom und je geringer der Gehalt an Sorbenten ist, desto höher bemißt sich die Auswaschung wasserlöslicher (Dünge-)Salze. So werden im besonderen auf Sandböden unter Maisanbau mit intensiver Gülledüngung erhebliche Frachten an Nitraten, aber auch die üblicherweise dabei angewandten Pestizide zu einem mehr oder weniger großen Anteil mit dem Sickerwasserstrom aus dem Wurzelraum transportiert und dem oberflächennahen Grundwasser<sup>6</sup> oder über dieses den Oberflächengewässern zugeführt. Auch Auswehungen abgetrockneten, nährstoffreichen Oberbodenmaterials sind auf diesen schlecht aggregierten Böden möglich. Je näher der wasserstauende Geschiebelehm an die Oberfläche tritt und je ausgeprägter damit Pseudogleymerkmale werden, desto mehr nimmt der oberflächennahe laterale Stofftransport in Nachbarpedotope zu (wodurch Senkenstandorte eutrophieren) und desgleichen Stickstoffverluste durch Denitrifizierung.

## 6.3 Böden aus Halterner Sanden der Haard

Nördlich von Oer-Erkenschwick liegt der morphologisch wie pedologisch gut abgrenzbare Komplex der Haard. Ihr kuppig welliges Relief, das von den Sedimenten der sogenannten Halterner Sande (Santon bis Campan) aufgebaut wird, erreicht Höhen von bis zu 156 m (Stimberg).

Die Böden der Haard stehen fast ausnahmslos unter Waldbestockung (Name: Haard-Wald). Der dominierende Bodentyp ist der Eisen-Humus-Podsol. Das sandige Ausgangsmaterial der Bodenbildung wurde während des Pleistozäns, zum Teil noch (mals) während des Holozäns umgelagert. Der Podsol ist bis auf ausgesprochene Senkenstandorte, in denen sich auf ton- und schluffreicheren Substraten Braunerden und Pseudogleye (echte Gleye fehlen!) entwickelten, und junge Dünenbildungen mit Podsol-Regosolen in unterschiedlichen Entwicklungsgraden überall vorhanden. Charakteristischerweise enthalten die Podsole stark verfestigte Eisenschwarten, die sich als reliktsche Oxidationshorizonte von Gleyen während tropischer Klimabedingungen im Tertiär gebildet haben (DAHM-ARENS 1972). Die Bodenart ist im typischen Fall ein feinsandiger Mittelsand, der meist weniger als 8 Prozent abschlämmbare Anteile enthält. Demzufolge sind der Nährstoffvorrat, die Sorptionsfähigkeit und die nutzbare Feldkapazität sehr gering. Bei landwirtschaftlicher Nutzung würden die Böden mit 15–22 Punkten bonitiert (DAHM-ARENS 1975). Nach bodenchemischen Untersuchungen von GEHRMANN et al. (1987) befinden sich die Böden der Haard bis in große Tiefen im Aluminium-Pufferbereich. Die sehr geringen Nährstoffreserven liegen in der biotisch inaktiven Moder- oder Rohhumus-Humusaufgabe gespeichert fest. Die Kationenbelegung der Austauscher besteht nahezu vollständig aus säurebildenden Kationen ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $H^+$ ). Leicht verwitterbare Silikate gibt es im Boden kaum noch, so daß die Pufferkapazität, allerdings auch die mineralische Speicherkapazität für Säuren gering ist.

Makronährelemente sind mit Ausnahme des Stickstoffs in Konzentrationen verfügbar, wie sie sonst nur für Spurenelemente typisch sind. Bei der forstlichen Bestandsbegründung erfolgt daher meist eine Meliorationsdüngung mit Einpflügen. Da die Haard gleichzeitig ein Gebiet ist, das bezogen auf die Hauptemittenten des westlichen und mittleren Ruhrgebietes genau in der Hauptwindrichtung liegt, ist der Eintrag säurebildender Depositionen im regionalen Vergleich überdurchschnittlich. Das bedeutet einerseits eine ständige, hohe Überlastung bodeneigener Säurepufferkapazitäten nicht nur unter der herrschenden Baumart *Pinus sylvestris* mit ihrer hohen Filterkapazität (BLOCK u. BARTELS 1984), aber auch, daß bei geringer Verfügbarkeit der Bioelemente aus der Reserve der Bodenfestphase ein hoher Anteil der Versorgung mit K, Mg, Ca aus den Bestandesniederschlägen erfolgen muß.

#### 6.4 Böden aus Auensedimenten der Lippe

Ähnlich wie im Ruhrtal entwickelten sich im Lippetal aus Flußablagerungen Braune Auenböden heraus. Entscheidend für die Entwicklung der Böden ist der Grundwasserflurabstand und dessen Schwankungsbereich im Jahreslauf, die Mächtigkeit des Kapillarsaumes sowie die chemische Zusammensetzung des Grundwassers. Im Gegensatz zu den Auenböden der Ruhr sind die Auenböden der Lippe aus Sanden und lehmigen Sanden entwickelt.

In Auenbereich der Lippe können örtlich zwei Talstufen unterschieden werden. Die höhere, die etwa 0,3–0,5 m über der unteren liegt, wird aktuell weniger oft überflutet, ist meist besser durchlüftet und wird verbreitet angesichts nur schwacher Vergleyung im Unterboden sogar ackerbaulich genutzt, während auf der länger vernähten unteren Stufe hauptsächlich Grünlandwirtschaft betrieben wird. Durch den Einfluß des schwankenden Grundwassers und die Überflutung durch Hochwässer sind die Böden meist basenreich, oft findet sich sogar freies  $\text{CaCO}_3$ . Vergesellschaftet sind die Braunen Auenböden der Lippe mit Gleyen und Niedermooren, die sich an einmündenden, kleinen lipptributären Bächen bzw. an Altwasserrinnen entwickelten. Auch im Bereich des Lippetals und nördlich darüber hinaus kommt es örtlich zu bergsenkungsbedingten Vernässungen und damit verbundenen Landschaftsschäden, zum Teil sind diese erst zu erwarten (z. B. Cappenberger Forst).

#### 7. Böden und Bodengesellschaften des Rheintals

Die breite Rheinaue und die Niederterrasse (20–35 m ü. NN) bilden die westlichste hier betrachtete regionale Bodenvergesellschaftung. Naturräumlich gehören sie zur Haupt-Einheit der „Mittleren Niederrheinebene“ (v. KÜRTE 1977).

In der 2–3 km breiten Aue des Rheins haben sich auf zwei Talstufen Braune Auenböden aus allochthonen, verbrauchten Flußsedimenten sandig-lehmiger bis

tonig-schluffiger Bodenart entwickelt, die meist schon oberflächlich, immer aber im tieferen Unterboden kalkhaltig sind. Im Deichvorland werden diese Böden bei starken Hochwässern regelmäßig überflutet, wobei den Böden stets nährstoffreiches, basenhaltiges Material zugeführt wird. Der Grundwasserstand im Auenbereich folgt den Wasserstandsschwankungen des Rheins und liegt die längste Zeit des Jahres, zumindest aber während des größten Teiles der Vegetationsperiode, tiefer als 1,5 m unter Flur. Die Auenböden sind bis auf die Zeiten kurz nach Überflutungen gut bearbeitbar und werden auch aufgrund ihrer hohen Sorptionsfähigkeit und der sehr hohen nutzbaren Feldkapazität bevorzugt ackerbaulich genutzt. Die Bodenwertzahlen liegen bei 50–80 Punkten. Bereiche stärkerer Vernässung, wie zum Beispiel verlandete Altwasserrinnen, und hoher Überflutungswahrscheinlichkeit unterliegen grünlandwirtschaftlicher Nutzung. Vernässungen können in der Rheinaue und im Ruhrmündungsbereich auch auf Bergsenkungen zurückgehen.

Die tiefgründig entwickelten Braunen Auenböden im Rheintal sind an Schwemmfächern im Bereich von Deichbruchstellen sowie am Uferrand des Rheins mit Auenrendzinen und kalkreichen Auenrohböden vergesellschaftet. Die Rheinaue zwischen Ruhr- und Lippemündung ist im ganzen verhältnismäßig schwach bebaut, allerdings liegen im Mündungsbereich der Ruhr auenständig Wohnsiedlungen und Industrieanlagen der Duisburger Ortsteile Kaßlerfeld, Neuenkamp, Rheinhausen, Homberg und Bruckhausen. Örtlich treten Veränderungen des natürlichen Bodenaufbaus auch durch Kies- und Sandausgrabungen auf (s. HOFMANN 1981).

Die östlich an die Rheinaue sich anschließende Niederterrasse ist zirka 4–6 km breit und in drei parallele, nordwest-südost orientierte Streifen unterschiedlicher Bodenvergesellschaftung differenzierbar. Im Westen liegt ein grundwasserferner Hochflutlehm, auf dem sich Braunerden und Parabraunerden hoher Güte für die landwirtschaftliche Bodennutzung ausgebildet haben. Nach Osten hin schließt sich eine Bruchzone an, in der Anmoorgleye, Gleye, Pseudogleye entwickelt sind, die allerdings auf weiten Flächen durch künstliche Grundwasserabsenkung ihre bodentypenspezifische Wasserdynamik verloren haben. In dieser Zone liegt auch der wegen Bergsenkungen künstlich angelegte Unterlauf der Emscher. Schließlich folgt weiter östlich auf erhöhtem Gelände mit anstehender drenthestadialer Grundmoräne die typische Bodenvergesellschaftung aus Braunerden und Pseudogleyen, die entsprechend ihrer unterschiedlich mächtigen Flugsandüberdeckung verschiedene Grade der Podsolierung aufweisen. Bodenvergesellschaftungen aus Braunerden und Pseudogleyen sind auch auf der rechtsrheinischen Niederterrasse südlich der Ruhrmündung verbreitet.

#### 8. Anthropogene Böden und Bodengesellschaften im Ruhrgebiet

Im Siedlungsraum nimmt der bodenbildende Faktor „Mensch“ verbreitet dominant Einfluß auf die Bodenentwicklung. Siedlungsspezifische Veränderungen an

Böden können physikalischer, chemischer oder biologischer Art sein. Als Beispiele seien Grundwasserabsenkung, permeable oder impermeable Versiegelung, Verdichtung oder Lockerung, Bodenauftrag, -einmischung oder -abtrag, Schadstoffeintrag, Alkalisierung und Eutrophierung genannt (SCHLICHTING 1986 a).

Förderung von Trinkwasser und Brauchwasser sowie Maßnahmen zur Steuerung der Vorflut im Verbund mit einer stadtokosystemtypisch verringerten Grundwasserneubildung (WEBER 1991) führen in der Hellweg-, Emscher- und Lippezone zu weithin abgesenkten Grundwasserständen, so daß die Böden trockener wurden. Unter impermeabler Versiegelung werden Bodenkörper fossilisiert und können ihre Funktionen im Landschaftshaushalt nicht mehr wahrnehmen. Niederschlagswasser gelangt in stark versiegelten Gebieten nur noch zu einem sehr kleinen Anteil zur Versickerung, so daß die Grundwasserneubildung minimal ist. Etwa 60–80 Prozent der Niederschlagsmenge fließt oberflächlich ab und wird letztlich der Kanalisation zugeführt. Damit vermindert sich das Wasserretentionsvermögen der Stadtlandschaft drastisch, und den resultierenden, stark erhöhten Abflußspitzen muß durch weitere flächen- (d. s. boden-) verbrauchende Maßnahmen (z. B. Bau von Regenrückhaltebecken) begegnet werden<sup>7</sup>.

Natürlich gelagerte Bodenkörper dagegen sind auf ebenem Gelände in der Lage, einen Großteil des Niederschlagswassers in sich als Haftwasser zu speichern und damit Tieren und Pflanzen zugänglich zu machen bzw. nach mechanischer oder chemischer Filterung dem Grundwasser zuzuleiten. Neben ihren Funktionen der Minderung des oberflächlichen Abflusses und der Erhöhung der Grundwassermenge und -güte besitzen sie damit für das Gedeihen von Flora und Fauna, den Biokatalysatoren von Stofftransformationsprozessen in Böden, erhebliche Bedeutung. Einmal versiegelte Böden lassen sich auch durch Maßnahmen der Entsiegelung nicht mehr in ihren ursprünglichen Zustand überführen, zu stark bemessen sich die irreversiblen Änderungen. Daraus leitet sich zwangsläufig die Forderung ab, „natürlich gewachsene“ Bodenkörper um ihrer vielfältigen Funktionen im Landschaftshaushalt willen vor einer Versiegelung zu bewahren.

Böden in Siedlungsökosystemen mit einer hohen Besiedlungsdichte unterliegen meist starken mechanischen Belastungen. Betreten und Befahren führen zur Oberbodenverdichtung und damit zu Verminderungen des Grobporenvolumens, den Leitungsbahnen für Niederschlagswasser. Gehemmte Versickerung bedeutet dann meist verminderte Bodendurchlüftung einhergehend mit Nährstoffverlusten durch Denitrifikation. Damit werden die elementaren Lebensraumfunktionen des Bodens, im besonderen seine Funktionen als Nährstofftransfermedium zur Lebewelt in starkem Maße eingeschränkt. Da die Bodenlebewelt für die meisten Prozesse des Stoffumsatzes essentiell ist und damit auch die „Bodenfruchtbarkeit“ steuert, ergibt sich eine besondere Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit des Bodens mit allen seinen Kompartimenten auch im städtisch geprägten Raum.

Ein wesentliches gemeinsames Merkmal von Böden im Siedlungsraum sind Beimengungen mehr oder weniger großer Mengen künstlicher Substrate im Bodenkörper. Bauschutt, Müll und Asche treten nahezu ubiquitär auf. Im

urban-industriell geprägten Raum kommen Müllverbrennungaschen, Schlacken der Metallgewinnung, Klär- und Industrieschlämme<sup>8</sup> und speziell in Bergbaugebieten auch Bergematerial als natürliches Gestein hinzu. Sie verleihen den Siedlungsböden je nach ihrem Mengenanteil spezifische Eigenschaften.

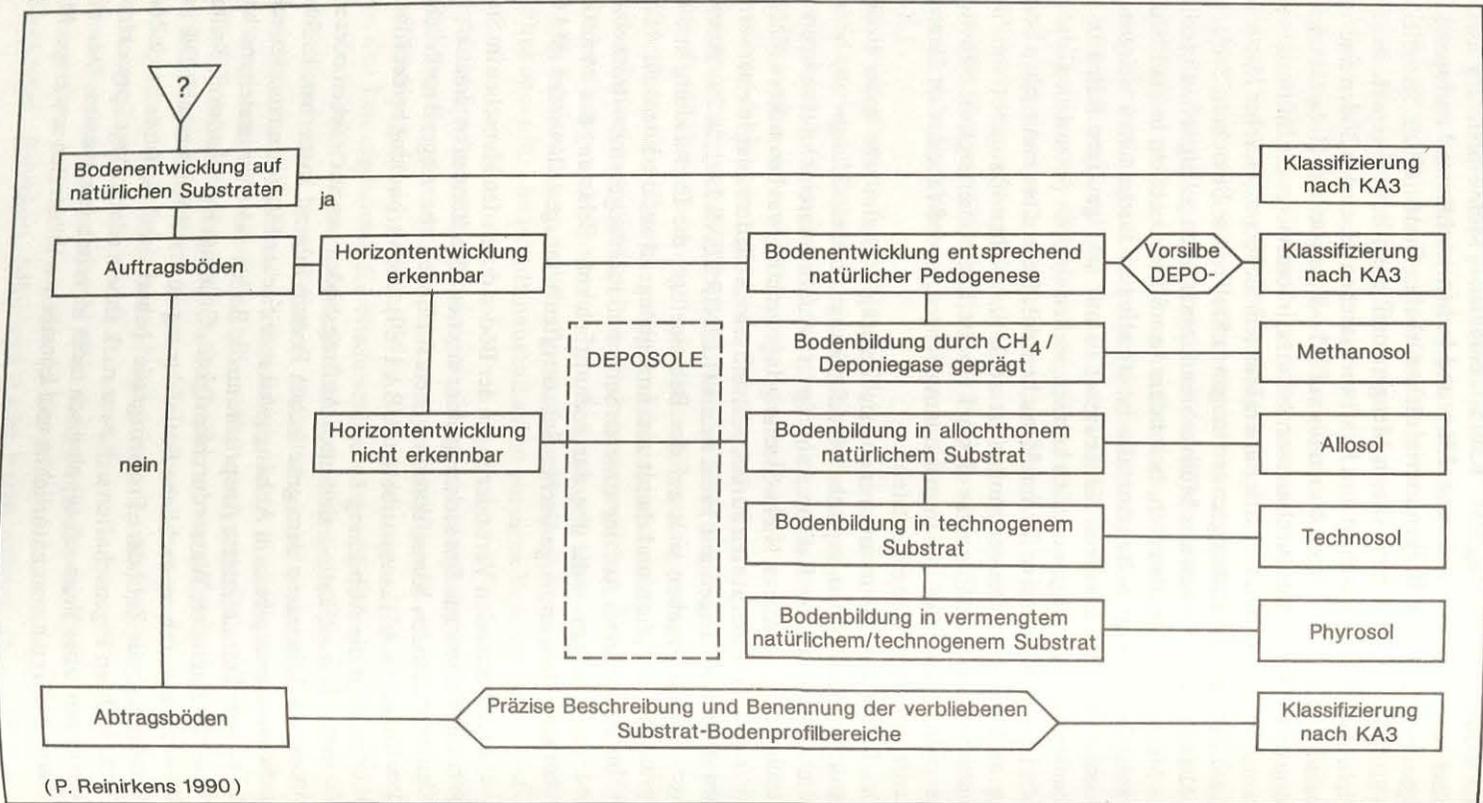
Hohe Anteile an Bauschutt und Kraftwerksaschen geben den Böden eine hohe Alkalinität. Die pH-Werte können bis auf 7,5–8,5 ansteigen. Hohe Gehalte an Bodenskelett (Körnungsdurchmesser: > 2 mm) intensivieren die Infiltration und Perkolation und führen zu stark mineralisiertem Sickerwasser hoher Härte. Mit den anthropogen eingemengten technogenen Stoffen wie Bauschutt, Schlacken der Metallhütten, Aschen aus Müllverbrennungsanlagen gelangen häufig erhebliche Mengen an Schadstoffen, besonders von Schwermetallen in Stadtböden. Obwohl die meisten Schwermetalle im alkalischen Bodenmilieu weitgehend immobil sind und mit dem Sickerwasser in nur sehr geringen Raten in das Grundwasser eingetragen werden können, stellen sie doch potentielle Gefahren für die Lebewelt, inklusive für den Menschen, dar. Gegenüber naturnahen Böden ohne anthropogene Beimengungen ist auch das Nährstoffangebot von Siedlungsböden mengenmäßig zwar oft stark erhöht (Eutrophierung), die Nährstoffzusammensetzung aber fast immer unausgewogen, so daß für einzelne Elemente mitunter relativer Mangel entsteht.

Das Ruhrgebiet als montan-industriell geprägter Raum sehr hoher Besiedlungsdichte weist zudem typische Modifizierungen bodenbildungs- und bodenentwicklungsrelevanter Faktoren auf. So ist die Jahresdurchschnittstemperatur gegenüber vergleichbaren Nicht-Siedlungslagen erhöht, was besonders auf höhere winterliche Temperaturen zurückgeht und seinen Niederschlag in einer verringerten Anzahl an Tagen mit Frost findet (REINIRKENS 1991, S. 30). Auswirkungen hieraus ergeben sich auf das Bodengefüge, die Entwicklung und die Aktivität des Edaphon und damit zusammenhängend auf die Intensität stofflicher Umsatzprozesse. Auf der anderen Seite muß rahmgebend — trotz einem Trend zum Besseren — die überdurchschnittlich hohe Belastung mit immittierten anorganischen und organischen Schadstoffen herausgestellt werden (MAGS 1985).

Die durchgreifenden Veränderungen der Böden durch den Menschen im Siedlungsraum führten zur Entwicklung einer eigenen „Stadtbodensystematik“, die mit dem bestehenden Klassifikationssystem für Böden überwiegend natürlichen Bodenaufbaus (KA3) kompatibel ist (UBA 1989). Die Verbindung beider Klassifikationen zeigt die Abbildung 1.

Mit dieser Klassifikation sind auch Auftragsböden aus natürlichen oder anthropogenen Substraten dem genetischen Prinzip folgend kartierbar. In Siedlungsökosystemen gibt es in Abhängigkeit spezifischer Flächennutzungszwecke zum Teil sehr klar definierte Ansprüche an die Boden- oder Substrateigenschaften (Nährstoffgehalte, Wasserdurchlässigkeit, Gründigkeit, Schadstoffgehalte). Diese werden durch menschliche Beeinflussung zu erreichen versucht. Die immerhin doch große Zahl der „Freiheitsgrade“ bewirkt, daß Böden unter gleicher Nutzung in ihren Eigenschaften sich zwar stark ähneln oder in ihrer Entwicklung konvergieren, aber dennoch typologisch nicht identisch sein müssen. Das mosaikhafte Auftreten von natürlichen und künstlichen Substraten sowie von Mi-

Abb. 1: Entscheidungshilfe zur Ansprache urbaner Böden



Aus: REINIRKENS (1991, S. 100) nach UBA (1989)

Tab. 1: Flächennutzung ausgewählter Städte des Ruhrgebiets  
— Flächenanteile an der Gesamtfläche [%] —

Ort	Bauflächen			Verkehrs- fläche	Aufschüt- tung, Ab- grabung	Grünflächen		Landw. Fläche	Wald- fläche	
	gesamt	Wohnbau	Ind./Gew.			Parks	Friedhöfe			
Dorsten	8,9	5,3	1,7	4,9	0,2	3,0	0,5	0,9	54,5	26,3
Recklingh./Stadt	24,2	16,3	4,8	11,5	0,0	13,3	2,0	6,4	41,3	6,8
Gelsenkirchen	33,4	17,8	12,6	13,5	0,4	17,4	4,6	6,6	19,4	5,9
Herne	36,6	23,3	10,1	15,8	1,0	18,2	3,7	8,0	13,6	3,8
Duisburg	30,0	15,0	12,6	12,0	1,1	13,6	4,0	4,6	23,0	7,7
Essen	30,8	20,6	7,2	12,4	0,1	15,8	4,5	6,8	20,9	11,1
Bochum	33,3	22,0	8,3	12,4	0,5	15,6	4,1	7,3	24,9	6,8
Dortmund	28,6	17,6	8,1	12,0	0,1	12,6	2,3	6,7	32,4	9,8
Witten	20,1	13,6	4,4	8,1	0,5	8,6	2,1	4,3	36,3	21,7

Quelle: Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW (1988): Statistische Rundschau Ruhrgebiet 1987, Düsseldorf.

schungen beider machen es unverzichtbar, vor einer Bodenkartierung die Flächen(nutzungs)geschichte zu eruieren.

Tabelle 1 zeigt die Flächennutzungsstruktur einiger ausgewählter Städte des Ruhrgebietes in nord-südlicher Anordnung und bei Zugehörigkeit zu demselben Landschaftsraum von Westen nach Osten.

Die Städte der Hellweg- und der Emscherzone sind durch außerordentlich hohe Bau- und Verkehrsflächenanteile gekennzeichnet, demgegenüber ist der Anteil landwirtschaftlicher Fläche und Waldfläche recht gering. Im nördlichen Teil des Ruhrgebiets dominiert schon südlich der Lippe die landwirtschaftliche Flächennutzung. Ein deutlicher Ausdruck zunehmender Reliefenergie nach Süden hin ist der besonders auch im Verhältnis zur landwirtschaftlichen Nutzfläche hohe Waldanteil in der Ruhrzone (Tab. 1).

In Anlehnung an die Bodenklassifikation von REINIRKENS (1991) werden im folgenden typische Vergesellschaftungen von Pedotopen unter verschiedenen Flächennutzungen im Siedlungsraum des Ruhrgebiets vorgestellt. Die dabei verwendete Nomenklatur richtet sich nach UBA (1989) (s. a. Abb. 1).

Die dicht bebauten und für den Verkehr intensiv erschlossenen Gebiete der Stadt- und Stadtteilzentren weisen nahezu keine natürlich gelagerten Böden mehr auf. Es überwiegen hier die vollständig impermeabel versiegelten Flächen. Der Versiegelungsgrad beträgt meist über 80 Prozent. Unter der versiegelten Oberfläche sind Böden und Substrate sehr heterogener Zusammensetzung fossilisiert. Nicht versiegelte Restflächen weisen alkalisch bis neutral reagierende Böden aus Bauschutt (Trümmerschutt) auf, denen meist Reste autochthonen Bodenmaterials (Bodenaushub der Auskellerungen), vor allem aber allochthone „Mutterböden“ und Substrate beigemischt sind. Nicht versiegelte Flächen sind einerseits durch Tritt häufig oberflächlich stark verdichtet und zeigen staunässebedingte Redoximorphismen oder sind durch feste und flüssige Abfälle eutrophiert. In diesen Gebieten herrschen somit pedogen nicht veränderte Substrate vor, die ein Versickern des Niederschlagswassers verhindern, so daß die Grundwasserneubildung sehr gering ist. Bodenbildungen beschränken sich auf Depo-Kalksyroseme und Depo-Pararendzinen, wobei die starke Humosität des Oberbodens zum überwiegenden Anteil auf anthropogene Deckschichten zurückgeht.

Charakteristische Wohnbauflächen des Ruhrgebiets sind die Zechenkolonien. Versiegelungsgrade von 50—60 Prozent weisen sie als mäßig dicht bebaute Flächen aus. Typischerweise sind sie durch relativ große Gärten, die früher alle Nutzgärten waren, stark durchgrünt. Hier sind zum Teil noch Böden naturnahen Aufbaus aus gebietstypischen Substraten erhalten geblieben. Nur die oberen 30—40 cm (— 60 cm) zeigen die nutzgartentypischen Eigenschaften einer tiefreichenden, starken Humosität, eines sehr lockeren, krümeligen Gefüges und pH-Werte im neutralen bis schwach sauren Bereich. Die Stickstoff- und Phosphorvorräte und Verfügbarkeiten sind hoch bis sehr hoch. In den meisten Fällen finden sich jedoch Beimengungen von Bauschuttmaterial, Kohlenstückchen oder Aschen aus dem Hausbrand. Es bleibt festzuhalten, daß auf den nicht versiegelten Flächen verbreitet Hortisole, tief humose Braunerden und Braunerde-Pseudogleye auftreten, die mit humosen Phytosolen vergesellschaftet sind. Heute werden diese Böden in zunehmendem Maße ziergärtnerisch genutzt.

Junge Wohngebiete aufgelockerter Bebauung (Einzelhäuser und zweige-

schossige Reihenhäuser) sind aufgrund ihrer autogerechten Erschließung häufig unverhältnismäßig hoch versiegelt (30—50 %). Durch Kelleraushub und Planierung sind Denudationsprofile (Denusole n. SCHRAPS 1989) und Auftragsböden (Deposole mit vermeintlicher Horizontierung), die natürliche Böden überdecken, innig miteinander vergesellschaftet. Die Bodenmatrix weist in der Regel hohe Anteile der umgelagerten natürlichen Bodensubstanz auf, so daß die Körnung in etwa erhalten blieb. Unter ziergärtnerischer Nutzung stehend werden diese Böden durch Düngung künstlich nährstoffstabilisiert und Pestizidapplikationen ausgesetzt.

Es kommt vor, daß solche Wohngebiete auch auf abgedeckten montan-industriellen Altstandorten errichtet wurden, so daß ausschließlich Phytosole und Technosole „entwickelt“ sind. Hier kann ein Ausgasen flüchtiger organischer Schadstoffe aus dem überdeckten Substrat kostspielige Sanierungen notwendig machen (z. B. Dortmund-Dorstfeld, Herne-Horsthausen).

Böden im Umfeld gewerblich/industrieller Produktionsstätten weisen wie die Böden im Stadtzentrenbereich hohe Grade impermeabler Bodenversiegelung (70—>85 %) auf. Böden mit natürlichem Aufbau und ohne Beimengungen technogener Substrate finden sich kaum, da die Flächen durch Planierungen und Auffüllungen den Erfordernissen der Produktionsstätten und als Reaktion auf „ubiquitäre Bergsenkungen“ sorgfältig vorzubereiten sind (REINIRKENS 1991, 115). Im Gegensatz zu den Böden in Gebieten dichter Wohn- und Mischbebauung treten hier häufig Verunreinigungen durch spezifische Produktionsrückstände auf, die durch Kalamitäten bedingt sind oder eine ungeordnete Deponierung darstellen. Zum Teil sind diese Flächen nachfolgend durch Betriebsexpansion überbaut oder als Parkplatz vollversiegelt worden. Jüngere Industriegebiete wurden häufig auf alten Zechen- oder Kokereistandorten angesiedelt, die nach Betriebsschließung mit Bergematerial, Aschen und Schlacken überschüttet worden waren und so einen guten Baugrund abgaben. Die oft schadstoffreichen Sickerwässer der permeablen Restflächen werden durch Drainagen abgeleitet und zentral gesammelt. Die Böden dieser Standorte sind in der Regel Technosole. Auf den begrüneten Abstandsflächen liegt diesen meist kulturfähiger Boden in 40—80 cm Mächtigkeit auf.

Böden entlang von Verkehrsstraßen sind in ihrem Aufbau und in ihren chemischen Eigenschaften gegenüber natürlichen Böden ebenfalls grundlegend verändert. Auskofferungen des Fahrbahnbereichs und Verfüllungen mit tragfesten Substanzen beeinflussen auch die sich seitlich anschließenden 1—5 m, auf denen meist ohnehin Bürgersteige plattiert oder gepflastert sind. Die fahrbahnbegleitenden Verfüllungen bestehen aus karbonatreichen, alkalisch reagierenden Gemischen von Bausand, Betonbrocken, Schlacke und Bodenaushub. Für Pflanzungen wird meist allochthones, humushaltiges Bodenmaterial oder Kompost aufgetragen. Im Spritzbereich des Fahrbahnwassers gelegen werden zwar verkehrsmengendifferenzierte, insgesamt aber überdurchschnittlich hohe Mengen anorganischer (Auftausalze, Pb, Cd) und organischer Schadstoffe immitiert. Sie können an Straßenbäumen zu Vitalitätsminderungen bis hin zum Absterben führen (BROD 1984; BROD et al. 1987; DÖBEL et al. 1990). Besonders hohe Depositionen weisen mit immergrünen Pflanzen bestandene Böden auf. Punktuell ist beobachtet worden, daß Straßenbäume auch durch Sauerstoff-

verdrängung im Wurzelraum als Folge undichter Gasleitungen geschädigt wurden.

Insgesamt gesehen befinden sich die Bodenentwicklungen im straßennahen Bereich meist in ihren Initialstadien (Entsalzung, Entkalkung); Technosole aus sehr unterschiedlichem Substrat sind am stärksten verbreitet.

Böden auf Grünflächen im Ruhrgebiet zeigen nur wenig gemeinsame Merkmale; zu groß ist die Heterogenität, die sich aus der Flächengeschichte ergibt. Sehr alte Grünflächen, die als Wald/Forst, Acker/Grünland, Garten, Park, Baumschule, Friedhof etc. genutzt werden, haben zum Teil noch ihren natürlichen Bodenaufbau. Hier wirken zwar ballungsraumtypische Rahmenbedingungen wie verändertes Mesoklima oder erhöhte Deposition von Luftverunreinigungen und nutzungsspezifische anthropogene Steuerungen ein, doch werden ihre Böden im Zuge von Stadtbodenkartierungen meist nach dem Verfahren für Nicht-Siedlungsböden klassifiziert. Dies mag aus stoffhaushaltlich-ökologischer Sichtweise heraus mitunter wenig befriedigen.

Hier ergibt sich daher ein Pedotopmuster, das im Grundsatz dem der vorher beschriebenen Vergesellschaftung naturnaher Böden entspricht. Hinzu treten jedoch stark eutrophierte Gartenböden (s. u.) und meist torfangereicherte, tiefhumose, locker gelagerte Nekrosole auf Friedhöfen (SCHMIDT-BARTELT, BEHNKE, BURGHARDT 1990), die besonders in der Emscher-Zone 35–45 Prozent der gesamten Grünflächen ausmachen (Gelsenkirchen 37,9 % u. Herne 44 %) und höhere Flächenanteile aufweisen als urbane Wälder<sup>9</sup> (s. Tab. 1). Die aufgrund der Zufuhr von organischer Substanz erhöhten Humusgehalte verbessern zwar die Wasserhaltekapazität, doch ist auf sandreichen Substraten mit einem erheblichen Nährstoffaustrag zu rechnen. Zur Ausweisung von Friedhöfenflächen oder deren Erweiterung sind nur solche Böden geeignet, auf denen eine schnelle Humifizierung gewährleistet und eine Kontamination des Grundwassers ausgeschlossen erscheint. Daher scheiden stau- oder grundnasse Böden aus, so daß es vor allem in Bergsenkungsgebieten heute schwierig ist, geeignete Flächen zu finden.

Speziell in den dicht bebauten Städten der Hellweg- und der Emscherzone nehmen die Kleingartenanlagen hohe Anteile der Grünflächen ein. Hier treten verbreitet stark nährstoffangereicherte Hortisole unter Gartennutzung (SCHMID 1986; BURGHARDT et al. 1990) auf. Die Versiegelung beschränkt sich meist auf die Erschließungswege, ist dort selten impermeabel und nimmt in diesen Pedotopen Flächenanteile von nur 10–35 Prozent ein. In den meisten Fällen sind die Böden innerstädtischer Grünflächen durch Einmengenungen technogener Substrate beeinflusst. Für das Essener Stadtgebiet führt MEUSER (1991) bei der Auswertung einer Stichprobe von 63 Profilen aus, daß überwiegend Ziegel-, Mörtel- und Betonbeimengungen, daneben aber auch regionsspezifische Substrate wie Kraftwerksaschen, Schlacken und kohlehaltiges Material sowie Müll gefunden wurden. Sie bewirken eine Alkalisierung und zusammen mit hoher Düngerapplikation und jahrzehntelanger überdurchschnittlicher Deposition eine Nährstoffanreicherung und erhöhte Schwermetallgehalte im Boden (SPÄTE u. WERNER 1991). Düngestoff- und Schadstoffaustrag mit dem Sickerwasser müssen in Abhängigkeit der Wasserdurchlässigkeit und des bodenchemischen Milieus standörtlich differenziert beurteilt werden. Von den regel-

haft nach DIN 18035 T 4 angelegten Rasensportflächen mit einer oberflächennahen Schichtung meist natürlicher Substrate (REINIRKENS u. HÜTTER 1991), die ebenfalls zu den Grünflächen zählen, werden Sickerwässer über ein Drainsystem der Kanalisation zugeführt.

Je nach Art und Menge des anthropogen aufgetragenen Materials sowie Alter des Auftrags entwickelt sich auf den urbanen Grünflächen ein kleingekammertes Bodentypenmosaik aus Technosolen, humosen Phytosolen, Depo-Pararendzinen, Depo-Regosolen und Hortisolen, zum Teil mit Übergängen zu Böden natürlicher Pedogenese.

Brachflächen, die dann den Grünflächen zugerechnet werden sollten, wenn geschlossene bodenbedeckende Vegetationsformationen ausgebildet sind, unterscheiden sich von den vorgenannten Typen zunächst schon durch die nur geringen bis fehlenden Pflegeeingriffe (z. B. Düngung, Mahd). Im Ruhrgebiet treten Brachflächen als Nischen in allen Flächennutzungstypen, und relativ großflächig auf aufgebenden Flächen des Bergbaus oder der Metallindustrie, auf. Hier ist dann der Anteil technogener feinen oder groben Substrates, im besonderen der Aschen, Schlacken, Berge und des Mülls im Oberboden vergleichsweise sehr hoch. Als Folge stellt sich ein hoher pH-Wert und — wasserhaushaltlich bedeutsam — eine geringe nutzbare Feldkapazität ein. Substratbedingt kann die Belastung mit organischen und anorganischen Schadstoffen sehr hoch sein. Die Bodenbildung geht hier kaum über Rohböden (Ai-C) Stadien hinaus.

Für den montan-industriellen Ballungsraum Ruhrgebiet charakteristisch sind Aufhaldungen von Kohlennebergestein, der sogenannten „Waschberge“. Trotz zahlreicher Alternativen der Verbringung von Bergematerial wie zum Beispiel der Verwendung als Straßenfüllmaterial oder -tragschichten, im Deich- und Dammbau, als Versatz mächtiger Flöze, zur Auffüllung zu rekultivierender Tagebaue oder zur Geländeerhöhung in Bergsenkungsgebieten führt auch heute aus Kostengründen kein Weg an einer Aufhaltung des größten Anteils vorbei. Im Jahre 1982 waren im Kataster des KVR bereits 235 Halden im Ruhrgebiet registriert (STENZEL 1983).

Bei den heutigen Bergehalden handelt es sich meist um Großhalden, die zwar als „Landschaftsbauwerke“ optisch ansprechender gestaltet werden, die allerdings sehr flächenintensiv sind. Grundflächen von mehr als 40 ha und Aufhöhungen um bis zu 100 m sind nicht selten. KERTH (1988 b, S. 375) führt an, daß im Jahre 2000 zirka 40 km<sup>2</sup> Fläche mit Bergematerial bedeckt sein werden.

Bergematerial besteht petrographisch aus Ton-, Silt- und Sandstein, Resten von Steinkohle sowie aus Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) und Siderit ( $\text{FeCO}_3$ ). Bodenbildungen aus Bergematerial beginnen mit den Prozessen der Entsalzung und der Pyritverwitterung. Oxidation von Pyrit führt über die Bildung von Schwefelsäure innerhalb weniger Jahre zur pH-Wert Erniedrigung der Feinsubstanzauflösung von ursprünglich 6–8 auf Werte zwischen 3–4 (WIGGERING 1984; KERTH 1988 a). Dabei wird das Material carbonatfrei, ionares Aluminium und Eisen können in Konzentrationen auftreten, die für aufwachsende Pflanzen (z. B. Forstkulturen) toxisch wirken. Autonome Entsauerungsmechanismen durch hydrolytische Verwitterung von im Bergematerial enthaltenen Tonmineralen wie Illit, Chlorit und Feldspäten können unter den gegenwärtigen Depositionsraten kaum wirksam werden, so daß auf der Versuchshalde Waltrop Experimente zu einer effek-

tiven Haldenbegrünung durch oberflächliche Einmischung basisch wirkender Stoffe (Flugaschen, Dolomitsand, Klärschlamm) durchgeführt werden (s. z. B. NEUMANN-MAHLKAU 1989<sup>10</sup>). Der Erfolg einer Haldenbegrünung ist wesentlich abhängig von einer hinreichenden Stickstoffversorgung der Kulturen. Vielversprechende Ansätze ergeben sich aus der Unterstützung der N-Startdüngung durch Leguminosen-Unterbau. In der Folge sollten dann die N-Depositionen eine ausreichende Minimalversorgung gewährleisten können. Wasserhaushaltlich betrachtet sind die Böden aus Bergematerial als trocken bis mäßig trocken zu klassifizieren.

Auf nicht abgedeckten Halden entwickeln sich in Abhängigkeit von der Zeitdauer nach der Schüttung Allosol — Silikat-Syrosem Bodengesellschaften. Der Nachweis einer in situ Humusakkumulation und die damit verbundene Entwicklung von Regosolen ist im kohlehaltigen Bergematerial schwierig zu führen. BURGHARDT (1989) versuchte, dies durch Bestimmungen der C/N-Verhältnisse und der Kationenaustauschkapazität abzuleiten.

Durchgeglühtes Bergematerial hat völlig andere chemische Eigenschaften als originäre Berge. Es reagiert in wässriger Lösung basisch und enthält zum Teil freies  $\text{CaCO}_3$  (REINIRKENS u. HÜTTER 1991). Dieses Material wird in gemahlener Form im Ruhrgebiet verbreitet als Tennenbelag der sogenannten roten Aschensportplätze benutzt. Es bildet bei einem Aufbau gemäß DIN 18035 T 5 den oberflächlichen Abschluß eines Auftrags aus Tragschicht, dynamischer Schicht und Tennenbelag. Außer einer unvollständigen Entkalkung findet keine nachhaltige Bodenentwicklung statt. Sie wird durch den periodischen Austausch des Tennenbelages abgebrochen.

Abschließend sollen Bodenentwicklungen auf Deponien, die für Ballungsgebiete an sich und nicht nur für das Ruhrgebiet im besonderen typisch sind, nämlich Bodenbildungen auf abgedeckten Mülldeponien, beschrieben werden. Hier führt eine unvollständige Verwesung von organischer Substanz im Müllkörper zu gasförmig entweichendem Methan, das im „Unterboden“ der Abdeckung eine Metallsulfidbildung einleitet, die durch Grau- oder Schwarzfärbung als Reduktomorphismus auch sichtbar wird. Im besser sauerstoffdurchlüfteten Oberboden hingegen kann die rötliche oder rötlich-braune Färbung des Ferrihydrats dominieren (BLUME 1987). Das Entweichen von  $\text{CH}_4$  aus dem Müllkörper und die Verdrängung von  $\text{O}_2$  aus der Bodenluft führt Probleme beim Anwachsen forstlicher Kulturen nach sich. Während die Bildung von echten Methanosolen auf Müllhalden doch eher selten ist, sind Ansätze zu dieser Entwicklung häufiger zu beobachten (z. B. Deponie Uhlenbruch, Herne). Die chlorid- und sulfathaltigen, stark mineralisierten schadstoffreichen Sickerwässer aus geordneten Mülldeponien werden über Drainagesysteme gesammelt und der Kanalisation zugeführt, so daß benachbarte Standorte kaum beeinflusst werden sollten.

Die Bodenvergesellschaftung auf Müllhalden ist abhängig von der Art der Abdeckung, der Auftragsmächtigkeit, der Auftragsart der Abdeckung sowie der Ableitung des entstehenden Methans. Auf lößlehmhaltigen Abdeckungen treten pseudovergleyte Allosole oder pseudovergleyte Phytosole auf, die wegen carbonathaltiger Beimengungen häufig basisch reagieren. Entcarbonati-

sierung, Humus- und Gefügebildung sind hier die wesentlichen bodenbildenden Prozesse.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Als Prodäeutik eines wirksamen Bodenschutzes im Ballungsraum Ruhrgebiet werden Böden, Bodengesellschaften und aktuelle Bodenentwicklungsprozesse dieses kulturlandschaftlich definierten Raumes im Überblick beschrieben. Die Darstellung umfaßt in ihrem ersten Teil die typologische Beschreibung von Böden mit naturnahem Aufbau differenziert nach morphologisch-lithologischen Einheiten, den sogenannten regionalen Bodengesellschaften. Hier dominieren die landwirtschaftliche und die forstliche Bodennutzung. Beide führen zu stoffhaushaltlich bedeutsamen Veränderungen des natürlichen Bodenzustandes. Landwirtschaftliche Düngung und Bodenbearbeitung einerseits erzeugen hohe Gehalte pflanzenverfügbarer Nährelemente, ein neutrales bis schwach saures bodenchemisches Milieu sowie — unter Acker — stark gelockerte Bodenkrumen, während andererseits forstlich genutzte Böden auf sehr unterschiedlichen Substraten tiefgründig nährstoffverarmt und versauert sind. Durch Überlagerung natürlich ablaufender Prozesse in Böden mit den anthropogenen Veränderungen des Bodenzustands können ansatzweise der Stoffhaushalt von Pedotopen, ihre nachbarschaftlichen Beziehungen und ihre Verknüpfung mit der Hydrosphäre abgeleitet werden.

Pedotope mit eingeschränktem Nährstofftransfer zur Phytomasse und damit verbundenen hohen Austragsraten unter landwirtschaftlicher Nutzung finden sich im besonderen auf skelettreichen Schuttdecken im südlichen Ruhrgebiet als auch auf perkolationsintensiven quartären Sanden nördlich des Emscherlaufs. Unter Waldbestockung sind dies die am meisten der Kompensations- oder Meliorationskalkung bedürftigen Bodeneinheiten.

Die westliche Hellwegbörde und die Löß- und Sandlößgebiete im Bereich des Vestischen Sattels, in denen sich Parabraunerden und Braunerden entwickelten, sind die landwirtschaftlichen Gunstgebiete des Ruhrgebietes. Ihre mittelporenreichen Böden zeichnet ein hervorragendes Nährstofftransfervermögen aus, und bedingt durch geringe Sickerraten bleibt der Stoffaustrag unter standortgerechter Bewirtschaftung niedrig. Unsachgemäße Bodenbearbeitung oder zu ausgedehnte Schlaggrößen können allerdings auf diesen Standorten große Erosionsschäden hervorrufen.

Bergtiefbau und damit zusammenhängende Bergsenkungen wirken sich im Raum des Emschertals bis nördlich der Lippe örtlich sehr stark auf den Bodenwasserhaushalt aus. Bachlaufregulierungen und eine Vielzahl von Pumpwerken stellen eine künstliche Vorflut her und gewährleisten die Gebietsentwässerung zum Rhein hin.

Im geschlossen besiedelten Ballungsraum des Ruhrgebiets haben menschliche Eingriffe verbreitet den natürlichen Bodenaufbau stark verändert. Bodenversiegelung, Beimengungen meist alkalisch reagierender, häufig schadstoffangerei-

cherter technischer oder (ortsfremder) natürlicher Substrate oder gar Aufschüttungen in Form von Halden und Deponien sind als typische Eingriffsformen von besonderer stoffhaushaltlicher Bedeutung.

Die Klassifikation dieser anthropogenen Böden erfolgt auf der Grundlage der Empfehlungen des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (UBA 1989), die räumliche Differenzierung in Bodengesellschaften in Anlehnung an REINIRKENS (1991) nach Flächennutzungen, da diese häufig den Stoffhaushalt der Pedotope entscheidend beeinflussen. Anhand der Flächennutzungsstruktur ausgewählter Orte des Ruhrgebiets in einem Nord-Süd-schnitt wird dargelegt, daß die Städte der Emscher- und der Hellwegzone mit Waldanteilen von < 7 Prozent und landwirtschaftliche Flächenanteilen < 20 Prozent die am dichtesten bebauten und versiegelten Räume im Ruhrgebiet sind.

Die stoffhaushaltlichen Veränderungen nicht versiegelter Böden — der Böden im eigentlichen Sinne — zeigen sich in der Regel in einer Alkalisierung und Eutrophierung aber auch in höheren Vorräten an anorganischen oder organischen Schadstoffen. Die Stoffumsatzprozesse können durch ein verändertes Mesoklima beschleunigt ablaufen. Zu den überaus stark nährstoffangereicherten Böden zählen die Gartenböden der Zechensiedlungen und sonstigen Wohnbaugebiete sowie der Kleingartenanlagen. Vor allem auf sandigen oder skelettreichen Böden besteht eine hohe Gefahr der Stoffauswaschung.

Einen guten Indikator des Zusammenspiels der menschgesteuerten Faktoren, die auf die Bodenentwicklung einwirken, stellt die Bodenlebewelt dar. Hier eröffnet sich ein weites Feld für kausalanalytisch ausgerichtete Detailuntersuchungen. Auch die häufig punktuell extrem schadstoffbelasteten montanindustriellen Altstandorte sind Teil der Stadtbodenforschung, doch sollte für stoffliche Untersuchungen und Gefährdungsabschätzungen die Zusammenarbeit mit Hydrogeologen, Toxikologen und Medizinern gesucht werden.

Bodenentwicklungen auf Bergehalden und Strategien der Haldenbegrünung werden sicher auch in Zukunft zu den notwendigen — und vielleicht auch zu den interessantesten — Forschungsobjekten der Bodenkunde im Ruhrgebiet zählen, da grundsätzliche Alternativen zu Haldenschüttungen von Kohlenebengestein fehlen. Vordringlich ist es, die autogene Bodenversauerung infolge Pyritoxidation durch die Zugabe basisch wirkender Puffersubstanzen zu kompensieren, um Begrünungen, zum Beispiel forstliche Bestandsbegründungen, zu ermöglichen und damit den heute sehr geringen Grünflächenanteil zu erhöhen. Dies ergänzt, aber ersetzt nicht die höchstrangigen Forderungen des Bodenschutzes:

Erstens: Schonender Umgang mit den Resten naturnaher Böden, denn sie erfüllen als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, als Filter-, Puffer- und Transformationsmedium und als Grundlage land- und forstwirtschaftlicher Produktion grundlegende Funktionen für die Leistungsfähigkeit des Landschaftshaushaltes und die Ernährung des Menschen, zweitens und mit besonderer Gültigkeit für das Ruhrgebiet: Entsigelung von Bodenkörpern dort, wo es möglich ist, damit sich Ihre wichtigen Funktionen progressiv entwickeln können.

## Anmerkungen

- 1 Zur grundsätzlichen Differenzierung der Schuttdecken in Basisfolge, Hauptfolge, Deckfolge s. STAHR 1979, vergleichend auch SEMMEL 1968 und KLEBER 1991.
- 2 Niederdeutsch bören = heben, tragen: Name „Börde“: zunächst wohl Gerichtsbezirk, zins- oder steuerpflichtiges Landgebiet; später Bezeichnung für eine Landschaft, die Feldfrüchte trägt, also meist fruchtbare Böden aufweist (DITTMAYER 1963).
- 3 Ut2 und Ut4: ADV — gerechte Schreibweise der Bodenart nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (1982) der ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE, hier als KA3 abgekürzt. Auch die verwendeten Bodenhorizontsymbole entsprechen der KA3.
- 4 GEHRMANN (1989, S. 25) nennt Raten der Gesamtprotonendeposition für Laubwälder im Ballungsraum Ruhrgebiet von mehr als 2 kmol H<sup>+</sup>/ha/a. Sie sind damit etwa 4 mal so hoch wie die Silikatpufferungsrate des Lößlehms. PAHLKE (1991) weist nach, daß bis in die jüngste Zeit der Trend zur Bodenversauerung in Waldökosystemen NRWs anhält und bestätigt damit die von BUTZKE (1981) publizierten Ergebnisse.
- 5 Schwierigkeiten bei der Herleitung des aktuellen Wasserregimes aus der Morphe des Bodens treten bei Profilen aus Geschiebelehm häufig auf, da reliktsche Merkmale eemzeitlicher Bodenentwicklung fast immer vorhanden sind.
- 6 Untersuchungen zum Pestizideintrag in Grund- und Oberflächenwasser im Raum Haltern siehe MÜLLER-WEGENER et al. 1988.
- 7 In vielen Städten des Ruhrgebietes werden gegenwärtig Vorbereitungen getroffen, je nach Anteil versiegelter Flächen an der Grundstücksfläche eine „Regenwasserabgabe“ zu erheben.
- 8 Für die hier aufgeführten Substrate liegen detaillierte Komponentenanalysen vor, die die wichtigsten Inhaltsstoffe beschreiben und im Hinblick auf umweltrelevante Eigenschaften bewerten (s. UBA 1989, S. 82 ff.).
- 9 Zur engeren Begriffsbestimmung „urbaner Wald“ siehe KREFT (1992, S. 17 ff.).
- 10 Weitere Kurzberichte zur Versuchsanstellung und ersten Ergebnissen siehe: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 58, Exkursion C. Bergehalden und anthropogene Böden im Ruhrgebiet, S. 201—234, 1989.

## Literatur

- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE <sup>3</sup>1982: Bodenkundliche Kartieranleitung (KA3). Hannover.
- ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER KOMMISSION V DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT 1988: Aufgaben, Inhalte und Aufbau eines Konzeptes zur Stadtbodenkartierung. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 56, 317—322.
- ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER KOMMISSION V DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT 1990: Stadtbodeninventur. Definition — Anlaß — Methoden — Ziele. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 61, S. 53—56.
- BLOCK, J. u. U. BARTELS 1984: Pilotprojekt „Saure Niederschläge“. In: LÖLF-Mitteilungen, Jg. 9, Heft 3, S. 44—45.
- BLUME, H.-P. 1990: Anthropogene Böden. Aus: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Landsberg/Lech, S. 458—473.
- BLUME, H.-P. 1987: Bodenkartierung von städtischen Verdichtungsräumen. In: Die Heimat. — Zeitschrift für Natur- und Landeskunde von Schleswig-Holstein und Hamburg, Bd. 94, S. 280—288.
- BRAUKÄMPER, K. 1989: Zur Gliederung der Löss- und Böden am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges in der Umgebung von Bochum. In: Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten, Serie D, Bd. 10, S. 95—105.
- BROD, H.-G. 1984: Auswirkungen der Auftausalze auf physikalische, chemische und biologische Bodenparameter. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 25. Jg., S. 236—242.
- BROD, H.-G., ELLWART, T. u. K. H. HARTGE 1987: Räumliche und zeitliche Änderung von Bodenparametern im Wurzelraum innerörtlicher Allee-bäume. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 55 II, S. 579—584.
- BUCH, M.-W. v. u. H. MEYER-STEINBRENNER 1988: Humusformenentwicklung in Hamburger Stadtwäldern und Parks. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 56, S. 327—332.
- BURGHARDT, W. 1989: C-, N- und S-Gehalte als Merkmale der Bodenbildung auf Bergehalden. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 59 II, S. 851—856.
- BURGHARDT, W., BAHMANI-YEKTA M. u. Th. SCHNEIDER 1990: Merkmale, Nähr- und Schadstoffgehalte von Kleingartenböden im nördlichen Ruhrgebiet. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 61, S. 69—72.
- BUTZKE, H. 1981: Versauern unsere Wälder? — Erste Ergebnisse der Überprüfung 20 Jahre alter pH-Wert-Messungen in Waldböden Nordrhein-Westfalens. In: Forst- und Holzwirt, Bd. 36, S. 542—548.
- CORDESEN, E. 1990: Bodenüberformung und -versiegelung. Aus: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Landsberg/Lech, S. 115—137.
- CORDESEN, E., SIEM, H.-K., BLUME H. P. u. H. FINNERN 1988: Bodenkarte 1:20 000 Stadt Kiel und Umland. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 56, S. 333—338.
- DAHM-ARENS, H. 1972: Entstehung der Eisenschwarten in den Kreidesanden Westfalens. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., Bd. 21, S. 133—142.
- DAHM-ARENS, H. 1975: Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:100 000. — Erläuterungen zu Blatt C: 4306 Recklinghausen. Krefeld.
- DEGE, W. 1976: Das Ruhrgebiet. Kiel.
- DITTMAYER, H. 1963: Rheinische Flurnamen. Bonn.
- DÖBEL, C., MEYER, N. u. W. BURGHARDT 1990: Untersuchungen zur Erfassung der Gefährdung von Straßenbäumen. — Bodenmerkmale, Schad- und Nährstoffgehalte, Vegetation und Fauna. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 61, S. 81—84.
- FRÜND, H.-C., RUSZKOWSKI, B., SÖNTGEN, M. u. U. GRAEFE 1988: Besiedlung städtischer Böden durch Regenwürmer, Enchytraeiden bodenlebende Gehäuseschnecken. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 56, S. 351—355.
- GEHRMANN, J., BÜTTNER, G. u. B. ULRICH 1987: Untersuchungen zum Stand der Bodenversauerung wichtiger Waldstandorte im Land Nordrhein-Westfalen. Göttingen. = Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe B, Bd. 4.
- GEHRMANN, J. 1989: Waldschäden und Bodenschutz. In: LÖLF-Mitteilungen, 14. Jg., Heft 1, S. 21—39.
- GIESE, R., GRÄFE, H., KUHS, R. u. W. BURGHARDT 1988: Anthropogen geprägte Böden im Umfeld einer Zechensiedlung. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 56, S. 357—362.
- GRENIUS, R. 1987: Die Böden Berlins (West) — Klassifizierung, Vergesellschaftung, ökologische Eigenschaften. Dissertation TU Berlin.
- HOFMANN, M. 1981: Belastung der Landschaft durch Sand- und Kiesabgrabungen, dargestellt am Niederrheinischen Tiefland. Trier. = Forschungen zur Deutschen Landeskunde Bd. 219.
- HÜTTER, M. 1992: Der ökosystemare Stoffhaushalt unter dem Einfluß des Menschen — dargestellt am Beispiel der geoökologischen Kartierung des Blattes Bad Iburg 1:25 000. Dissertation Ruhr-Universität Bochum 1992.
- KERTH, M. 1988 a: Die Pyritverwitterung im Steinkohlenbergematerial. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf und den Auswirkungen der Pyritoxidation. Dissertation Universität GHS Essen. Essen.
- KERTH, M. 1988 b: Die Oxidation des Pyrits — dominierender chemischer Verwitterungsvorgang in Bergehaldenrohböden des Ruhrgebietes. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 56, S. 375—380.
- KLEBER, A. 1991: Gliederung und Eigenschaften der Hang-Schuttdecken und ihre Bedeutung für die Bodengese. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 66 II, S. 807—810.
- KLINK, H.-J. 1990: Ergebnisse siedlungsökologischer Untersuchungen im Ruhrgebiet. In: Berichte zur deutschen Landeskunde, Bd. 64, Heft 2, S. 299—344.
- KREFT, H. 1992: Urbane Wälder. — Struktur- und Belastungsanalyse als Grundlagen einer schonenden Nutzung von Wäldern in Siedlungsökosystemen. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum.

- KUHS, R. u. W. BURGHARDT 1988: Ökologische Eigenschaften von Böden montanindustriell geprägter Flächen. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 56, S. 381—386.
- KÜRTELEN, W. v. 1977: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 95/96 Kleve/Wesel. Bonn-Bad Godesberg. = Geographische Landesaufnahme 1:200 000 — Naturräumliche Gliederung Deutschlands.
- Liedtke, H. 1990: Relief, Böden und Grundwasser im Ruhrgebiet. Aus: Seibt, F. et al. (Hrsg.): Vergessene Zeiten im Ruhrgebiet, Bd. 2, S. 64—67, Essen.
- MAAS, H. u. E. MÜCKENHAUSEN 1971: Böden. — Erläuterung und Karte 1:500 000. = Deutscher Planungsatlas Bd 1: Nordrhein-Westfalen, Lieferung 1.
- MAGS = Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NW (1985): Luftreinhalteplan Ruhrgebiet West. — 1. Fortschreibung 1984—1988. Düsseldorf.
- MEUSER, H. 1991: Verteilung unterschiedlicher technogener Bodensubstrate in Essener Stadtböden. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 66, S. 819—822.
- MÜLLER-WEGNER, U., LITZ, N., KLEINE, W. u. G. MILDE 1988: Über die Sanierung eines durch Pflanzenschutzmittel belasteten Wassereinzugsgebietes. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 57, S. 77—82.
- MURL = Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1989): Klima — Atlas von Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- NEUMANN-MAHLKAU, P. 1989: Halde Waltrop — ein Großversuch zur Haldenbegrünung. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 58 (Exkursionsführer), S. 208—210.
- PAHLKE, U. 1991: Langzeit-Entwicklung des chemischen Bodenzustandes in säurebelasteten Waldstandorten Nordrhein-Westfalens. — Ergebnisse einer dreifachen Bodeninventur. Dissertation Universität GHS Essen.
- PIETSCH, J. u. H. KAMIETH 1991: Stadtböden. — Entwicklungen, Belastungen, Bewertung und Planung. Taunusstein.
- REINIRKENS, P. 1991: Siedlungsböden im Ruhrgebiet. — Bedeutung und Klassifikation im urban-industriellen Ökosystem Bochums. Paderborn. = Bochumer Geographische Arbeiten Heft 53.
- REINIRKENS, P. u. M. HÜTTER 1991: Untersuchung Bochumer Sportplätze. Unveröffentlichtes Gutachten, Bochum.
- ROST-SIEBERT, K. 1985: Untersuchungen zur H- und Al-Ionen-Toxizität an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies*, Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica*, L.) in Lösungskultur. Göttingen 1985. = Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Bd. 12.
- SCHLICHTING, E. 1965: Die Raseneisenbildung in der nord-westdeutschen Podsol-Gley-Landschaft. In: Chemie der Erde, Bd. 24, S. 11—26.
- SCHLICHTING, E. 1986 a: Wofür, wogegen und wie Bodenschutz? Hohenheimer Arbeiten (ohne Nr.) — Bodenschutz-Tagung über Umweltforschung an der Universität Hohenheim, S. 1—8, Stuttgart.
- SCHLICHTING, E. 1986 b: Einführung in die Bodenkunde. Hamburg, Berlin 1986. = Pareys Studentexte Nr. 58.
- SCHMID, R. 1986: Bodenbelastung in Kleingärten — mögliche Ursachen und Gefahren. In: Hohenheimer Arbeiten (ohne Nr.) — Bodenschutz. Tagung über Umweltforschung an der Universität Hohenheim. Stuttgart.
- SCHMIDT-BARTELT, D., BEHNKE, R. u. W. BURGHARDT 1990: Friedhöfe auf Löß und urban-industriell überprägten Substraten Ruhrgebiet — Bodenmerkmale, Probleme und Lösungsansätze. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 61, S. 131—134.
- SCHRAPS, W.-G. 1987: Bodenkartierung städtischer Freiflächen. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 53, S. 269—274.
- SCHRAPS, W.-G. 1989: Zur Systematik anthropomorpher Böden im Ruhrgebiet. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 59 II, S. 981—982.
- SCHREIBER, D. 1975: Klimatologie — Allgemeine Klimatologie. Bochum.
- SCHULTE-BISPING, H. u. H. W. LÜLF 1991: Bodenprofile und deren chemische Charakteristik aus Nordrhein-Westfalen. Göttingen. = Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe C, Bd. 2.
- SEMMELE, A. 1968: Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. Frankfurt a. M. = Frankfurter Geographische Hefte 45.
- SIEM, H.-K. 1990: Anthropogene Gesteine als Ausgangsmaterial der Bodenbildung unter besonderer Berücksichtigung gebrannter Steine. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 61, S. 141—144.
- SPÄTE, A. u. W. WERNER 1991: Erfassung und Auswertung der Hintergrundgehalte ausgewählter in Böden Nordrhein-Westfalens. Düsseldorf 1991. = Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten des Landesamtes für Wasser und Abfall NRW, Bd. 4.
- STAHR, K. 1979: Die Bedeutung periglacialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald. Freiburg i. Br. = Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen Bd. 9.
- STENZEL, W. 1983: Probleme und Möglichkeiten der Verbringung von Bergematerial des Steinkohlebergbaus im Ruhrgebiet. Bochum 1983. = Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e. V. Nr. 9/1983.
- UBA = Umweltbundesamt (Hrsg.) 1989: Kartierung von Stadtböden — Empfehlung des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die bodenkundliche Kartieranleitung urban, gewerblich und Industriell überformter Flächen (Stadtböden). Berlin. = Umweltbundesamt-Texte 18/89, Forschungsbericht 107 03 007/03; UBA-FB 89—056.
- ULRICH, B. 1981: Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bd. 144, S. 289—305.
- WEBER, U. 1991: Einfluß der Urbanisierung auf den Wasserhaushalt im Raum Aachen. = Aachener Geographische Schriften, Heft 23.
- WERTIZ, N. u. D. SCHRÖDER 1990: Die Bewertung mikrobieller Aktivitäten in Stadtböden als Beitrag zum städtischen Bodenschutz. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 61, S. 149—152.

WIGGERING, H. 1984: Mechanismen bei der Verwitterung aufgehaldeter Sedimente (Berge) des Oberkarbons. — Dissertation Universität GHS Essen. Essen.

ZEZSCHWITZ, E. V. 1985: Immissionsbedingte Änderungen analytischer Kennwerte nordwestdeutscher Mittelgebirgsböden. In: Geol. Jb., F 20, S. 3–41. Hannover.

Weiterhin wurden folgende amtliche Bodenkarten des Geologischen Landesamtes NW verwendet: L 4304 Wesel 1983, L 4306 Dorsten 1985, L 4308 Recklinghausen 1987, L 4310 Lünen 1984, L 4506 Duisburg 1978, L 4508 Essen 1984, L 4510 Dortmund 1977, C 4306 Recklinghausen 1975, C 4310 Münster 1959.