



S. Höke, M. Denneborg,
C. Kaufmann-Boll

Urbanes Bodeninformationssystem Emscher

Planungshilfe für die
Wasserwirtschaft im Klimawandel

Gefördert durch:



URBANES BODENINFORMATIONSSYSTEM EMSCHER – PLANUNGSHILFE FÜR DIE WASSERWIRTSCHAFT IM KLIMAWANDEL

Silke Höke, Michael Denneborg, Carolin Kaufmann-Boll

ahu AG Wasser · Boden · Geomatik

www.ahu.de

mit einem Beitrag von K.J. Berief & E. Pankratz (Plan-Zentrum Umwelt)

dynaklim-Publikation Nr. 31 / Dezember 2012



URBAN SOIL INFORMATION SYSTEM EMSCHER (URBIS-ER) – PLANNING AID FOR WATER MANAGEMENT AT CLIMATE CHANGE

Since about 200 years wide areas in the Emscher region (931 km²) are transformed into urban soil landscapes. Today, approximately 70 % of the soils consist of mixtures of technical and natural substrates.

The urban soils have taken over the functions of the natural soils in the water and element circles. To evaluate their functions as well as their prospects and risks caused by the climate change, their spreading and their properties have to be known. Up to now suitable urban soil maps and soil data material for planning processes are not available.

Two model areas are chosen to prove how to create URBIS-ER. The benefit of URBIS-ER for water management is the improvement of

- the data basis (maps with the spreading of urban soils with a characterisation of properties which influence groundwater quantity and quality),
- prognostic tools (e.g. water household models, planning of storm water infiltration during the climate change),
- risk assessment by climate change (increasing release of harmful substances, groundwater and surface water quality),
- detection of chances and planning of necessary action (e.g. use of the soil cooling capacity for a better climate in cities = reduction of groundwater building).

In URBIS-ER four evaluation maps are developed: Soil water household; Iron release potential of the soils; Cooling capacity of the soils; Soil suitability for storm water infiltration. The concept of URBIS-ER is that in the future more elements, soil property values and soil function could be *integrated*.

Inhaltsverzeichnis		
1	EINLEITUNG	1
2	VORGEHEN	4
3	ERSTELLUNG DER KONZEPTBODENKARTE	6
3.1	Arbeitsschritte	6
3.2	Die Konzeptbodenkarte	14
3.3	Validierung der Konzeptbodenkarte	18
4	ATTRIBUTIERUNG DER NEUEN BODENRAUMEINHEITEN	21
4.1	Ableitung der bodenkundlichen Kenngrößen aus der Stadtbodendatenbank	24
4.2	Charakterisierung der neuen Bodenraumeinheiten	38
4.2.1	Wohnbaufläche, Baufläche für Sport, Erholung und öffentliche Zwecke inklusive Sportanlagen	38
4.2.2	Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache	40
4.2.3	Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb	42
4.2.4	Eisenhüttenwerk, Stahlwerk, Sinteranlagen, Galvanik, Gießerei, Zinkhütte	44
4.2.5	Bahnflächen	46
4.2.6	Sonstige Industrie- und Gewerbeflächen	48
4.2.7	Kleingarten, Gartenland	50
4.2.8	Halde, Deponie, Ablagerung	52
4.2.9	Gemischte Nutzung	54
4.2.10	Friedhofsböden	55
4.2.11	Fazit	56
5	URBANES BODENINFORMATIONSSYSTEM EMSCHERRAUM (URBIS-ER)	57
5.1	Bodenwasserhaushalt in Stadtböden	57
5.2	Kühleigenschaften von Stadtböden	62
5.3	Versickerungseignung der Böden	67
5.4	Eisenfreisetzungspotenzial der Böden	75

6	FLÄCHENHAFTE VERBREITUNG ANTHROPOGEN VERÄNDERTER BÖDEN, ABGELEITET AUS BOHR- UND BODENDATENAUSWERTUNGEN	80
6.1	Aufbereitung des Datensatzes	81
6.2	Raumeinheitenmodell	82
6.3	Ergebnisse der statistischen Auswertungen vor dem Hintergrund der flächenhaften Verbreitung anthropogener Böden	83
6.4	Fazit	87
7	FORSCHUNGSBEDARF	89
8	ZUSAMMENFASSUNG	90
9	LITERATURVERZEICHNIS	94

Abbildungen

Abb. 2.1:	Bewertungskonzept urbane Gewässerqualität und Kühlungsfunktion Einzugsgebiet Emscher	4
Abb. 2.2:	Modellgebiete	5
Abb. 3.1.1:	Erstellung der Konzeptbodenkarte	8
Abb. 3.1.3:	Erstellung der Konzeptbodenkarte	13
Tab. 32.1:	Flächenanteile der neuen Bodenraumeinheiten im Untersuchungsgebiet Bottrop	15
Abb. 3.3.1:	Konzeptbodenkarte Testgebiet Bottrop	16
Abb. 3.3.2:	Konzeptbodenkarte Testgebiet Roßbach	17
Abb. 4.1:	Übersicht Nutzung und Substrat der Böden	22
Abb. 4.2:	Prozentuale Anteile der technogenen Substrate in der Karte Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen im Einzugsgebiet der Emscher	23
Abb. 4.1.1:	Häufigkeitsverteilung der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität alle Böden	26
Abb. 4.1.2:	Pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität [mm] in Abhängigkeit der Flächennutzung	27
Abb. 4.1.3:	nFKWe [mm] in Abhängigkeit der Flächennutzung	28
Abb. 4.1.4:	Häufigkeitsverteilung der langjährigen mittleren jährlichen Sickerwasserraten aller Böden	29
Abb. 4.1.5:	Langjährige mittlere jährliche Sickerwasserraten (TUB_BGR)	30
Abb. 4.1.6:	Mittlere jährliche Sickerwasserraten (TUB_BGR)	30
Abb. 4.1.7:	Häufigkeitsverteilung der potenziellen Bodenkühlleistungen aller Stadtböden	31
Abb. 4.1.8:	Potenzielle Bodenkühlleistung [ETa mm] in Abhängigkeit der Flächennutzung	32
Abb. 4.1.9:	Häufigkeitsdiagramm der Luftkapazitäten alle Böden	33
Abb. 4.1.10:	Luftkapazitäten in Abhängigkeit der Flächennutzung	33
Abb. 4.1.11:	Häufigkeitsdiagramm der gesättigten Wasserleitfähigkeiten	34
Abb. 4.1.12:	Geringster kf-Wert im Bodenprofil in Abhängigkeit der Flächennutzung	35
Abb. 4.1.13:	Häufigkeitsverteilung der Fe _t -Mengen [kg m ⁻³] in den Bodenprofilen	36
Abb. 4.1.14:	Fe _t -Mengen in kg m ⁻³ und 1 m Bodentiefe in Abhängigkeit der Flächennutzung	37
Abb. 4.2.1:	Regosol aus Schlacken und Aschen über einem fossilen Plaggenesch im Randbereich eines Fußballplatzes (Bottrop)	38
Abb. 4.2.2:	Regosol aus einem Bauschutt-/Schluff-Gemisch (Dortmund)	40
Abb. 4.2.3:	Syrosem aus Bergematerial aus einem Bauschutt-/ Schluff-Gemisch (Gelsenkirchen)	44
Abb. 4.2.4:	Syrosem aus Hochofenschlacke (Duisburg)	44
Abb. 4.2.5:	Regosol aus Aschen, Schlacken und Bergematerial (ehem. Güterbahnhof Essen Frintrop)	46
Abb. 4.2.6:	Regosol aus sauren Aschen mit Sandlagen über einem gekappten ehemaligen Podsolboden in Gelsenkirchen	48
Abb. 4.2.7:	Regosol aus reliktem Hortisol über reliktem Gley (Essen)	50
Abb. 4.2.7:	Regosol aus Sand und Bauschutt über Spülmateriale mit Stauwassereinfluss (Bottrop)	52
Abb. 4.2.8:	Regosol aus umgelagerten fluviatilen Sand/ Sandlöss mit Bauschuttbeimengungen über Siedlungs- und Straßenbauschutt (Bottrop)	54
Abb. 5.1.1:	Pflanzenverfügbare Wasserspeichergehalte im Testgebiet Roßbach	58
Abb. 5.1.2:	Differenzkarte der pflanzenverfügbaren Wasserspeichergehalte im Testgebiet Bottrop	60

Abb. 5.1.3:	Mittlere jährliche Sickerwasserraten der Böden im Testgebiet Roßbach	61
Abb. 5.2.1:	Potenzielle Bodenkühlleistung im Testgebiet Bottrop	63
Abb. 5.2.2:	Urban-industriell überprägte, ehemalige Landschaftseinheiten und Bodentypen im Testgebiet Bottrop	64
Abb. 5.2.3:	Potenzielle Bodenkühlleistung im Testgebiet Roßbach	65
Abb. 5.3.1:	Bodenphysikalische Eignung der Böden zur Regenwasserversickerung im Testgebiet Bottrop	69
Abb. 5.3.2:	Bodenphysikalische Eignung der Böden zur Regenwasserversickerung im Testgebiet Roßbach	70
Abb. 5.3.3:	Wasserdurchlässigkeit/Luftkapazität Ökogramm zur Ermittlung der Eignung eines Standortes zur Niederschlagsversickerung	72
Abb. 5.4.1:	Fe-Mengen in den Böden sowie Fe-Mittelwerte in Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser	77
Abb. 6.3.1:	Räumliche Verteilung der Bodendaten und Darstellung der Tiefe der anthropogenen Veränderung	84
Abb. 6.3.2:	Räumliche Verteilung der Bodendaten und Darstellung der Tiefe der anthropogenen Veränderung	85

Tabellen

Tab. 3.1.1:	Datengrundlagen	7
Tab. 3.3.1:	Durchgeführte Laboranalysen (ausgewählte Proben der Referenzprofile)	18
Tab. 3.3.2:	Ergebnisse der Feldvalidierung der Konzeptbodenkarte	19
Tab. 5.3.1:	Klasseneinteilung, Bewertung und Beschreibung von Böden zur Eignung für eine dezentrale Versickerung	71
Tab. 5.3.2:	Ermittlung geeigneter Standorte zur dezentralen Regenwasserversickerung	72
Tab. 5.4.1:	Einstufung Fe-Gehalte im Grundwasser in mg l^{-1} in Bottrop	76
Tab. 5.4.2:	Fe im Grundwasser in Abhängigkeit der Tiefe unter GOK	78
Tab. 5.4.3:	Fe im Grundwasser in Abhängigkeit der Jahreszeit im Bereich von 2,5 bis 10 m u.GOK	78
Tab. 6.2.1:	Raumeinheiten mit Angabe der Flächenanteile und Zahl der Bohrpunkte	83
Tab. 6.3.1:	Flächenhafte Bedeutung und Kenndaten der statistisch ausgewerteten Flächentypen	86
Tab. 6.3.2:	Flächenhafte Bedeutung und Kenndaten der differenzierten Wohnbauflächen (Gelsenkirchen, Herne)	86

ANHANG

1 Einleitung

Im Ergebnisbereich 3.1 werden die Grundlagen für eine klimaangepasste Grundwasserbewirtschaftung am Beispiel der Emscher-Lippe-Region (ELR) erarbeitet.

Das wichtigste Prognose- und Planungsinstrument hierzu sind Grundwassermodelle, mit denen die Auswirkungen einer veränderten Grundwasserneubildung und die daran angepassten Grundwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in verschiedenen Szenarien analysiert werden können (vgl. Messer et al. 2011).

Einer der wichtigsten Eingangsparameter in numerischen Grundwassermodellen ist die Grundwasserneubildung. Ein wichtiges Element bei der Berechnung der Grundwasserneubildung ist der Bodenwasserhaushalt, der wiederum durch eine Vielzahl an Parametern gesteuert wird, wie z.B. Porenvolumen, Humusanteil, Kornverteilung. Der Bodenwasserhaushalt bestimmt, wie viel Niederschlagswasser infiltriert und gespeichert wird und den Pflanzen zur Verdunstung zur Verfügung steht. Wasserüberschuss fließt teilweise oberirdisch oder als Interflow oberflächennah ab. Hinzu kommt eine dritte Abflusskomponente: die Grundwasserneubildung. Hierunter wird der Anteil verstanden, der weiter vertikal bis in die wassergesättigte Zone sickert und dann als Grundwasser zur Verfügung steht.

Aufgabenstellung in A 3.2.1 war es, zunächst abzuschätzen, welche der Parameter des Bodenwasserhaushaltes sich durch den Klimawandel verändern und inwiefern dies Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt und damit auf die Wasserspeicherung und -verfügbarkeit sowie den flachen (Interflow) und tiefen Abfluss (Grundwasserneubildung) hat. Im Aufgabenpaket 3.2.2 wurde auch die klimabedingte Veränderung des Schadstoffverlagerungs- und Abbaupotenzials von Böden und deren Einfluss auf die Grundwasser- und Oberflächenwasserqualität betrachtet. Die Ergebnisse dazu sind im *dynaklim*-Bericht Nr. 11 dargestellt. Neben den naturnahen Böden wurden auch die in der ELR verbreiteten urbanen Böden betrachtet.

Im Einzugsgebiet der Emscher sind in den letzten 200 Jahren große Flächenanteile naturnaher Böden in urbane Bodenlandschaften umgewandelt worden. Heute prägen Stadtböden den urbanen Raum.

Ihre speziellen Merkmale bestimmen wesentlich die Qualität als Pflanzenstandort und die Verdunstungs-, Versickerungs- und Grundwasserneubildungsleistungen. Vor allem durch Industrie, Kriegsgeschichte und diffuse Einträge enthalten Stadtböden ein hohes Schadstoffpotenzial. Für die Aufgabenstellung in E3.1 (Grundwasserbewirtschaftung) haben die Böden deshalb eine zentrale Funktion:

- Höhe der Grundwasserneubildung (A3.2.1),
- Beeinflussung der Grundwasserqualität (A3.2.2),
- Beeinflussung der Oberflächenwasserqualität (A3.2.2).
- Hinzu kommt noch eine Beeinflussung des Stadtklimas (A4.3).

Die Stadtböden haben die Funktionen der naturnahen Böden übernommen. Um ihre Funktionserfüllung und die entstehenden Chancen und Risiken durch den Klimawandel bewerten zu können, müssen sie in Planungsprozessen zur zukünftigen Grundwasserbewirtschaftung ihrer Verbreitung und ihren Eigenschaften entsprechend berücksichtigt werden.

Die Verbreitung urbaner Böden wird nach der Bodenkarte 1 : 50.000 des Geologischen Dienstes NRW im Einzugsgebiet der Emscher mit ca. 10 % der Fläche angegeben. Aus stadtbodenkundlichen Kartierungen (Oberhausen, Duisburg, Essen) und weiteren Kartenwerken (z.B. Ingenieurgeologische Karte 1 : 25.000) geschätzt bestehen aber mindestens 40 %, in Teileinzugsgebieten auch bis zu 70 %, der heutigen Böden in diesen Städten aus Mischungen anthropogener und natürlicher Substrate. Diese Böden zeigen nach ersten Berechnungen im Mittel eine um rund 20 bis 30 % höhere Grundwasser-

neubildungsrate als die naturnahen Böden aus der Region. Diese höheren Grundwasserneubildungsraten sind bedingt durch die speziellen Merkmale urbaner Böden (z.B. oft hohe Skelettgehalte, vgl. Höke et al. 2011).

Neben höheren Grundwasserneubildungsraten weisen die Stadtböden oft höhere Schadstoffpotenziale als naturnahe Böden auf. Die Kombination von hohen Grundwasserneubildungsraten und erhöhten Schadstoffgehalten lässt Schadstoffeinträge in das Grundwasser erwarten.

Die Ziele dieses Aufgabenpaketes sind daher eine Verbesserung

- der Datengrundlage (Karte der Verbreitung der Stadtböden mit einer Ableitung grundwasserqualitätsrelevanter Eigenschaften),
- der Prognoseinstrumente (Grundwasserneubildung, Grundwassermodelle, Versickerungsplanung vor dem Aspekt des Klimawandels),
- der Risikoabschätzung durch den Klimawandel (Freisetzung des Schadstoffpotenzials, Grund- und Oberflächenwasserqualität),
- der Chancenerkennung und Maßnahmenplanung (Nutzung der Kühlleistungen der Böden für ein besseres Stadtklima = Reduzierung der Grundwasserneubildung).

Diese Ziele sollen erreicht werden durch die Entwicklung eines **Urbanen Bodeninformationssystems Emscher (URBIS-ER)**.

Aus URBIS-ER werden folgende Ergebniskarten abgeleitet:

a) Klimabedingter Bodenwasserhaushalt

Die Karte ist ein Beitrag zu einer realistischeren Abschätzung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildungsraten in einer anthropogenen Bodenlandschaft, insbesondere zur Prognose des Einflusses des Klimawandels.

b) Kühlleistungen der Böden

Die Karte dient dazu, Böden zu erkennen, auf denen die Kühlleistungen besonders gut oder schlecht ausgeprägt sind. Böden mit hohen Kühlleistungspotenzialen sollten in städtischen Räumen mit Überwärmungsproblemen von Bebauung freigehalten und zur Kühlung genutzt werden. Böden mit geringen Kühlleistungen sind Potenzialflächen (z.B. für Ausgleichsmaßnahmen und zur Verbesserung der Kühleigenschaften), um der innerstädtischen Überwärmung auf nachhaltige Weise entgegenzuwirken.

Böden mit hohen Kühlleistungen weisen eine geringe Sickerwasserbildung auf. In städtischen Ökosystemen ist eine hohe Sickerwasserbildung zumeist unerwünscht, da viele Böden Schadstoffe enthalten und diese nicht ins Grundwasser gelangen sollten. Durch den Klimawandel kann die Grundwasserneubildung in Teilgebieten steigen und negative Auswirkungen haben. Kann das Niederschlagswasser zu größeren Anteilen im städtischen Raum in entsprechend geeigneten oder auch speziell dafür aufgebauten Böden zwischengespeichert und mittels Pflanzen verdunstet werden, würden drei Probleme gemindert: die innerstädtische Überhitzung, die Schadstoffverlagerung in das Grundwasser und steigende Grundwasserstände infolge erhöhter Grundwasserneubildung.

c) Versickerungseignung der Böden

Die Karte zeigt Räume, in denen die Böden aufgrund ihrer Durchlässigkeit versickerungsgünstig, bedingt versickerungsgünstig oder ungeeignet sind. Diese Versickerungseignung kann mit Schadstoffpotenzialen und weiteren Bodeneigenschaften (pH-Werte, Säureneutralisationskapazitäten u.a.)

verschnitten werden, um Risiken der Versickerung zu beurteilen. Bisher liegen in Teilbereichen des Einzugsbietes der Emscher digitale, flächenhafte Angaben zu den Schadstoffgehalten in den Oberböden vor (Digitale Bodenbelastungskarten). In Bearbeitung sind Ansätze, wie auch die Schadstoffpotenziale der Unterböden und Ausgangsgesteine digital und flächenhaft erfasst werden können. Liegen diese Informationen vor, können sie mit der physikalischen Versickerungseignung der Böden verschnitten werden.

d) Eisenfreisetzungspotenzial der Böden

Beim Gewässerumbau im Emschergebiet erweist sich Eisen vielfach als Problemstoff. Eisen liegt in einigen urbanen Böden in hohen Mengen vor. Durch Eisenausfällungen im Gewässer (Verockerung) werden die ökologischen Gewässerqualitätsziele verfehlt. In Drainagen und Brunnen führen Eisenausfällungen zu einem erhöhten Betriebsaufwand und verkürzten Standzeiten der Anlagen. Die Karte soll Risikobereiche einer Eisenfreisetzung aus dem Boden aufzeigen. Sie dient damit auch als Beispielkarte für das Freisetzungspotenzial von Schadstoffen, die sich ähnlich wie Eisen verhalten oder an Eisenverbindungen gebunden sind.

URBIS-ER wird so konzipiert, dass später weitere Stoffe, Bodenkennwerte und Bodenfunktionen integriert werden können.

2 Vorgehen

Die Abbildung 2.1 zeigt in einer Übersicht die Vorgehensweise. Das Vorgehen wurde für die Bearbeitung im Rahmen des *dynaklim*-Projekts in zwei Modellgebieten getestet (Abb. 2.2) und ist für die Anwendung in der Gesamtregion geeignet.

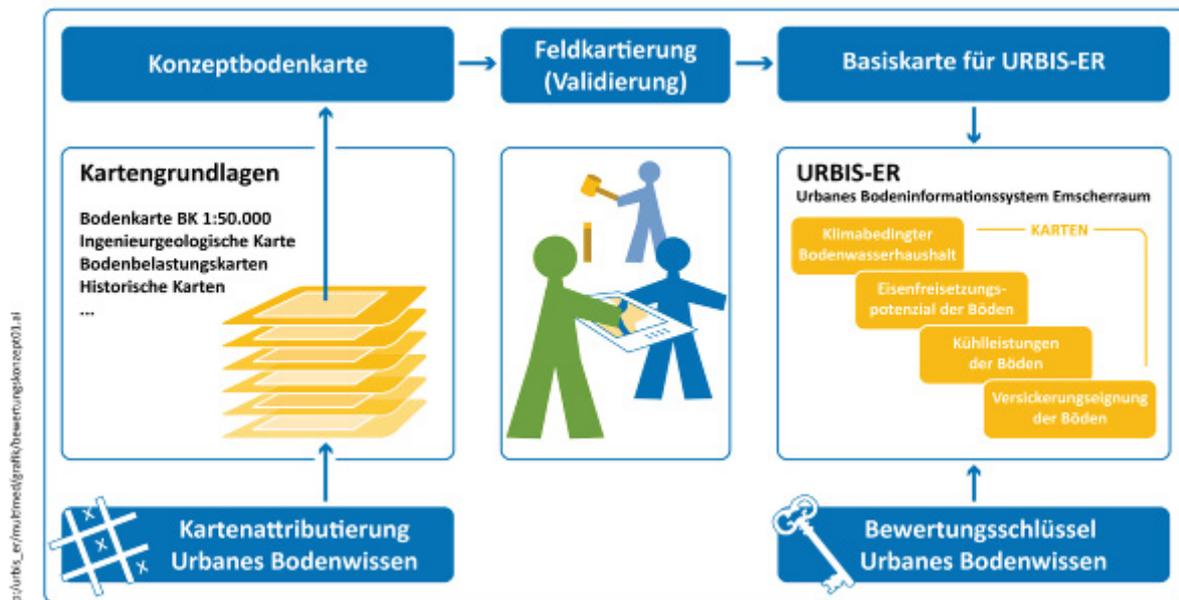


Abb. 2.1: Bewertungskonzept urbane Gewässerqualität und Kühlungsfunktion Einzugsgebiet Emscher

Als Modellgebiete wurden ausgewählt:

- Bottrop (144 km²): Gebiet des Blattes Bottrop der topographischen Karte 1 : 25.000 (TK25) sowie Teile des im Süden angrenzenden Blattes Mülheim,
- Roßbach (7 km²): Teileinzugsgebiet des Roßbachs¹ im westlichen Stadtgebiet von Dortmund.

Für beide Gebiete liegen viele Daten bereits in digital verfügbarer Form vor und die Gebiete sind auch in anderen *dynaklim*-Projekten Pilotgebiete. Weitere *dynaklim*-Teilprojekte (z.B. Stadtklimaverbesserung) können von den Ergebnissen profitieren.

Die beiden Modellgebiete decken zusammen 16,3 % der Gesamtfläche des Einzugsgebietes der Emscher (931 km²) ab.

In den Modellgebieten wird erprobt, wie Informationsgewinn und Arbeitsaufwand miteinander in Beziehung stehen, welche Ableitungen urbanen Bodenwissens mit Hilfe einer Fuzzy-Logik² in die Fläche übertragen werden kann und welche der Datengrundlagen zur Verbesserung der Bodeninformationen für das gesamte Einzugsgebiet der Emscher dann geeignet sind.

Das Vorgehen wurde am Modellgebiet Bottrop entwickelt und am Modellgebiet Roßbach einer ersten Überprüfung auf Nachvollziehbarkeit und Vollständigkeit unterzogen. Während der Bearbeitung wurden mehrere Informations- und Diskussionstermine mit Umweltbehörden, Geologischem Dienst und Emschergenossenschaft durchgeführt.

¹ Abgrenzung gemäß der EG (Entwurf) vom 11.05.2010.

² Wissensbasiertes System, 'Modellierung' eines Prozesses ohne Anwendung eines im hergebrachten Sinne formulierten mathematischen Modells oder auch die Modellierung von Unsicherheiten/Unschärfen. Beispielsweise können damit Angaben wie sehr wahrscheinlich, wahrscheinlich oder unwahrscheinlich mathematisch in Modellen erfasst werden.

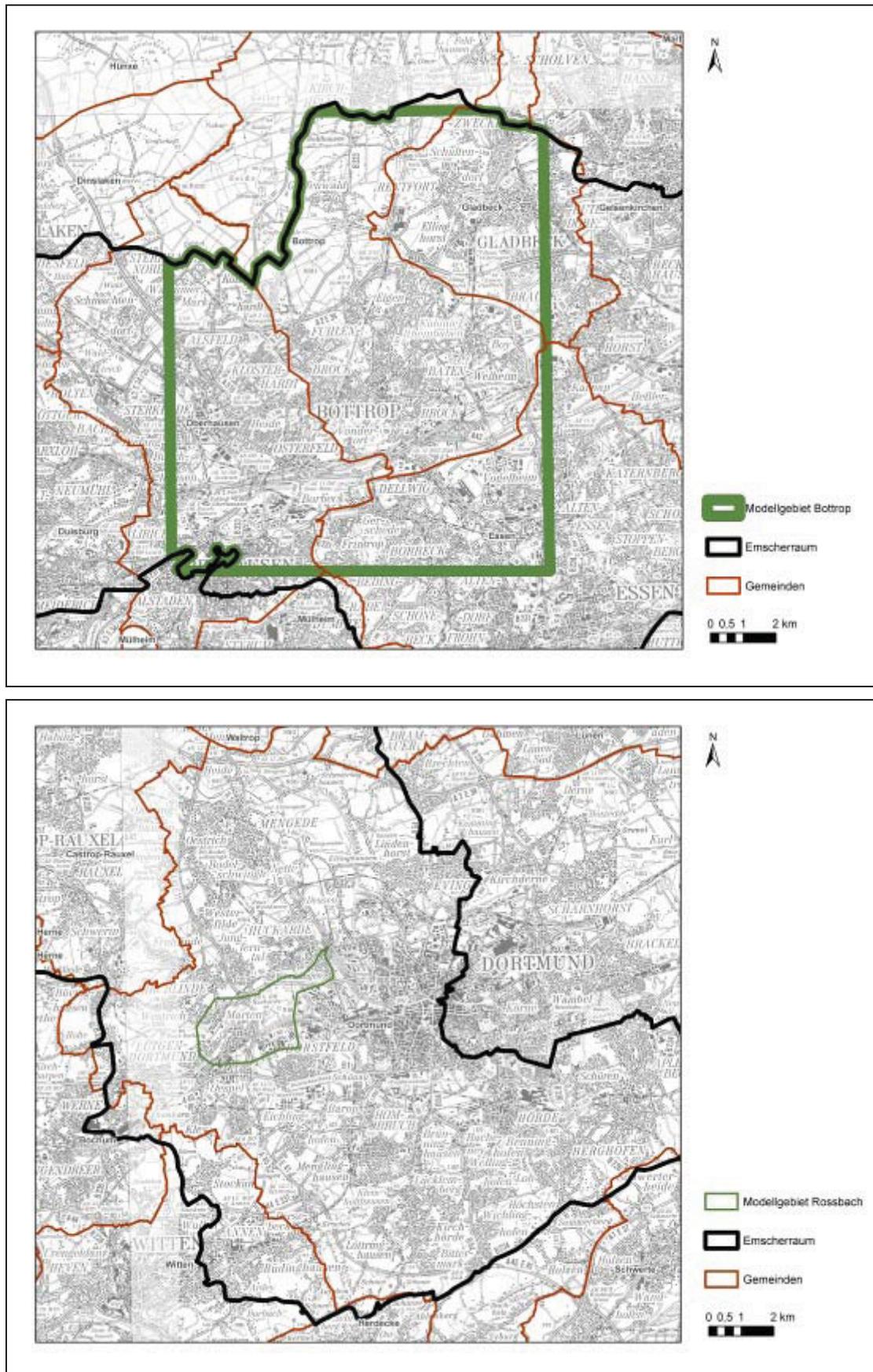


Abb. 2.2: Modellgebiete

3 Erstellung der Konzeptbodenkarte

Im Emscherraum liegt flächendeckend die Bodenkarte im Maßstab 1 : 50.000 (BK50) vor. Diese bildet die urbanen Böden bislang nicht hinreichend genau ab (siehe Kap. 1). Ziel der Konzeptbodenkarte (KBK) ist es, eine flächendeckende verbesserte Datengrundlage für die Bodeneigenschaften im Emscherraum vorzulegen. Um dies zu erreichen, wird keine klassische bodenkundliche Kartierung des Gebietes durchgeführt. Stattdessen wird die Bodenkarte 1 : 50.000 mit Hilfe weiterer vorliegender Kartengrundlagen und Informationsquellen ergänzt (vgl. Schneider 2002).

Solange ein flächendeckendes großmaßstäbiges bodenkundliches Kartenwerk (z.B. im Maßstab 1 : 5.000) fehlt, kann die Konzeptbodenkarte als Hilfestellung für die wasserwirtschaftliche Planung und andere Modellbetrachtungen dienen. Im Vergleich zur bislang eingesetzten BK50 wird die Konzeptbodenkarte die Böden im Emscherraum realistischer abbilden. Dennoch verbleiben maßstabsbedingt Unsicherheiten.

Die Konzeptbodenkarte soll Flächen mit möglichst ähnlichen Bodeneigenschaften, so genannte Raumeinheiten, darstellen. Die Bildung von Raumeinheiten orientiert sich dabei vorrangig an denjenigen Bodeneigenschaften, die für die vier Ergebniskarten des URBIS-ER maßgeblich sind, d.h. an zumeist bodenphysikalischen Größen.

3.1 Arbeitsschritte

In der Tabelle 3.1.1 sind die vorhandenen Grundlagen und deren bodenrelevanten Inhalte zusammengestellt, die in das zu entwickelnde Urbane Bodeninformationssystem Emscherraum (URBIS-ER) einfließen sollen. Die Quellen und Bearbeitungsstände der Datengrundlagen usw. sind in einer nach DIN-EN-ISO-19115 standardbasierten Metadatenfile, die um projektspezifische Inhalte erweitert wurde, abgelegt.

Die historischen topographischen Karten und die historischen Luftbilder sind nur für Validierungen verwendet worden, da diese Daten heute noch nicht in digitalisierter Form vorliegen. Lägen die ehemaligen Flächennutzungen digitalisiert vor, wären diese Daten eine sehr wertvolle Informationsbasis für die Konzeptbodenkarte.

Die Historischen Gewässerverläufe wurden i.d.R. sehr gut durch die semiterrestrischen Bodentypen und die Moore der BK50 abgebildet. Daher sind diese Daten ebenfalls nur zur Validierung verwendet worden.

Das Kartenwerk „Historische Digitale Höhenmodelle“ für die Region von Harnischmacher (2010) stand zum Zeitpunkt der Erstellung der Konzeptbodenkarten für die beiden Testgebiete noch nicht zur Verfügung. Wenn ein Urbanes Bodeninformationssystem für den gesamten Emscherraum erarbeitet wird, sollte diese Datengrundlage noch mit in die Arbeitskarten eingearbeitet werden.

Auch sollte geprüft werden, in welcher Form die Auswertung der vorhandenen Bohrdatenbanken integriert werden kann. Eine Einarbeitung der Ergebnisse der Bohrdaten aus den Validierungen in die KBK im Maßstab 1 : 50.000 ist nicht sinnvoll, da keine geeignete Grundlage für die räumliche Abgrenzung der neuen Raumeinheit besteht.

Anders sieht es aus, wenn die KBK im Maßstab 1 : 50:000 (angedacht für das gesamte Einzugsgebiet der Emscher) als Grundlage für größer maßstäbige Bodenkarten eingesetzt würde. Dann könnte z.B. mit Hilfe historischer Luftbilder und Karten eine Raumeinheitenabgrenzung für kartierte Standorte erfolgen und so nach und nach aus der KBK eine Bodenkarte werden (vgl. dazu Abschn. 3.4).

Tab. 3.1.1: Datengrundlagen

Datengrundlage	AK Flächennutzung	AK Substrat	AK Grundwasserstand	Validierung
ATKIS - Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, 2009 (Geobasis NRW)	X			
FNK – Flächennutzungskartierung, 2009 (Regionalverband Ruhr)	x	x		
ALVF – Altlastenverdachtsflächen Emscherraum, Zusammenstellung von 2002 (Emscher Gesellschaft für Wassertechnik)	x	x		
BK50 - Digitale Bodenkarte 1:50.000, 2007, 2011 (Geologischer Dienst NRW)		X		
IGK25 – Digitale Ingenieurgeologische Karte, 2000 (Geologischer Dienst NRW)		x		
Abfallkarte Emscherraum, 1966-68 (DMT, EGLV)		x		
Grundwasserflurabstand Emscherraum 2011 (EGLV)			X	
Stadtbodendatenbank				X
Topographische Karten	x			
Historische Topographische Karten				x
Historische Luftbilder				x
Historische Gewässerläufe				x
	nach Prüfung nicht berücksichtigt			
	Karte der befestigten Flächen 2010 (EGLV)			

X = Grund-Datenbasis

x = ergänzend einbezogen

Wenn die Konzeptbodenkarte zukünftig um eine bodenchemische Charakterisierung der neuen Bodenraumeinheiten erweitert werden soll, können auch z.B. die Bodenbelastungskarten Oberboden, die ja bald flächendeckend vorliegen, integriert werden.

Die Konzeptbodenkarte wird als Shape-Datei für ArcGIS angelegt und basiert auf 3 Arbeitskarten, die miteinander verschnitten werden (s. Abb. 3.1.1):

1) Flächennutzung

Ziel ist eine Arbeitskarte der aktuellen oder historischen Nutzung, die die Bodeneigenschaften einer Fläche maßgeblich beeinflusst. So ist z.B. der Boden einer historisch als Eisenhüttenwerk genutzten Fläche auch bei einer Folgenutzung als Grünfläche i.d.R. von charakteristischen Substraten wie z.B. Eisenhüttenschlacken geprägt. Die Legendeneinheiten können Subnutzungen aufweisen.

2) Substrat

Ziel ist eine Arbeitskarte der Substratgruppe und nach Möglichkeit eine weitere Differenzierung einzelner Substrate.

3) Grundwasserstufe

Ziel ist eine Arbeitskarte der Grundwasserstufe in Anlehnung an Ad-hoc-AG Boden (2005), die den mittleren GW-Flurabstand bzw. den mittleren Grundwasserhochstand erfasst.

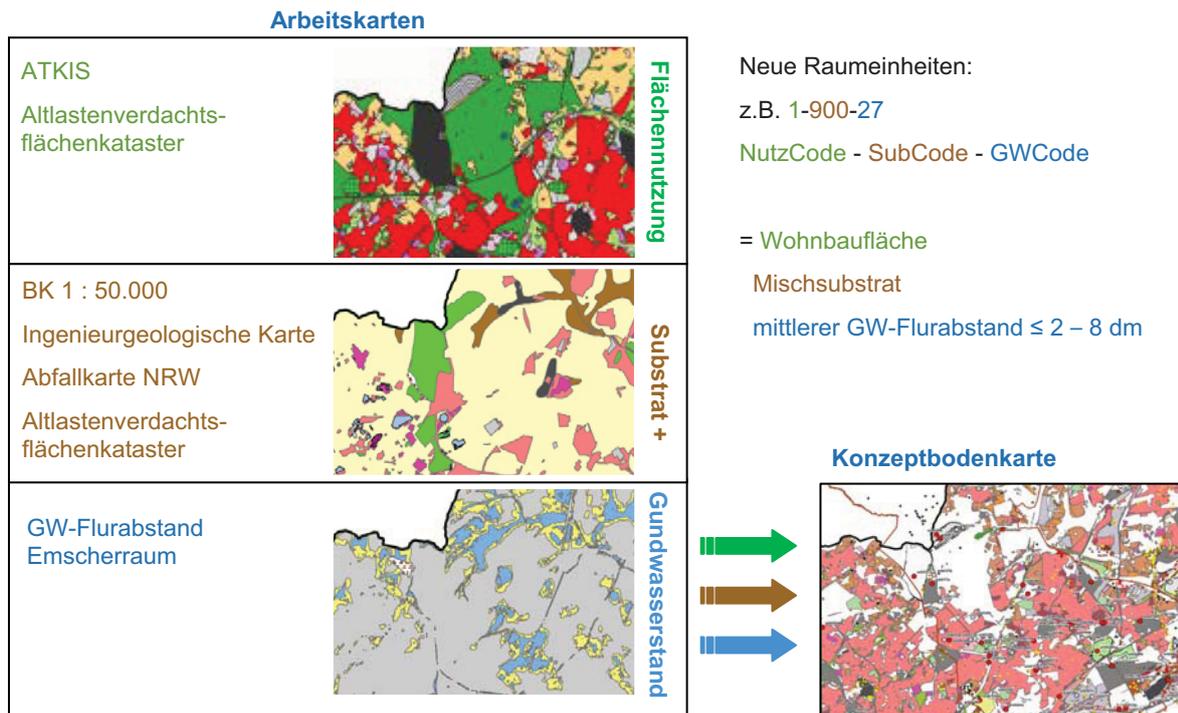


Abb. 3.1.1: Erstellung der Konzeptbodenkarte

Zur Erstellung der Konzeptbodenkarte wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

1) Festlegen des Betrachtungsrahmens der Konzeptbodenkarte:

- Untergrund bis 1 m Tiefe oder Unterkante effektiver Wurzelraum,
- unversiegelte Flächen,
- mittlerer Maßstab (ca. 1 : 50.000), der durch die Datengrundlagen mit dem kleinsten Maßstab bestimmt wird (das sind Abfallkarte und BK50 mit 1 : 50.000).

2) Festlegen der Abgrenzungskriterien für die Raumeinheiten und CodeListen:

Um eine handhabbare Anzahl von Raumeinheiten zu erhalten, basiert die Erstellung der Konzeptbodenkarte ausschließlich auf den drei Abgrenzungskriterien Flächennutzung, Substrat und Grundwasserstufe. Nach Abwägung von Nutzen (Qualitätsverbesserung der Karte), Aufwand und Handhabbarkeit der Ergebnisse wurde von der Einbeziehung weiterer Abgrenzungskriterien abgesehen (z.B. aktuelle und historische Überschwemmungsgebiete, Versiegelungsgrad oder Siedlungsstruktur, Siedlungsalter, Status der Industrie- und Gewerbeflächen, Geländeform, historische Gewässerläufe, Leitungspläne oder Kriegsschäden).

Im Rahmen der Erstellung von speziellen Ergebniskarten werden ggf. weitere Raummerkmale ergänzt (s. Abschn. 5.4). Der Stauwassereinfluss konnte im ersten Schritt der Raumeinheitenbildung nicht flächendeckend dargestellt werden, da Informationen ausschließlich in der BK50 für naturnahes Bodenmaterial vorliegen, für urbane Substrate und Mischsubstrate aus technogenen Materialien und Bodenmaterial jedoch noch fehlen. Zudem wird der Stauwassereinfluss als äußerst inhomogen sowohl in der Fläche als auch in der Tiefe angenommen, da lokale Nutzungseinflüsse (Befahren, Auflasten) eine große Rolle spielen.

Für die Abgrenzungskriterien der Raumeinheiten werden Code-Listen erstellt (s. Tab. 3.1.2 und Abb. 3.1.1). Die Codes dienen zur eindeutigen und handhabbaren Verschlüsselung der KBK-Legendeneinheiten. Erst durch die Zuordnung der Codes zu den Flächenobjekten der Datengrundlagen können die einzelnen Datengrundlagen miteinander verglichen und hinsichtlich ihrer räumlichen und inhaltlichen Aussagekraft bewertet werden.

Tab. 3.1.2: Abgrenzungskriterien für die Raumeinheiten

Abgrenzungskriterien für die Raumeinheiten	Code
Flächennutzung	NutzCode
Substratgruppe und Substrat (Begriff entspricht hier nicht der KA5): Art des Materials, d.h. Bodenart/Lagerung für naturnahe Böden; Substratart für urbane Böden	SubCode1, SubCode2
Grundwasserstufe	GWCode

3) Datenrecherche und -aufbereitung:

Für die KBK-Erstellung wurden geeignete digitale Datengrundlagen beschafft, mit Hilfe von Metadaten dokumentiert und GIS-technisch verarbeitet, d.h. sie wurden in ein einheitliches Format gebracht sowie in den meisten Fällen auf das Einzugsgebiet der Emscher ausgeschnitten, aggregiert und/oder ggf. um Fehlflächen oder Fehler bereinigt. Welche Datengrundlagen berücksichtigt wurden, ist in Abschnitt 3.2 dargestellt.

Zur Metadatenerfassung wurde ein projektspezifischer Metadatensatz entworfen, der z.T. auf den Vorgaben des ISO-Standards 19115 basiert und um projektspezifische Inhalte erweitert wurde. Er enthält z.B. Titel, Stand der Erfassung, Urheber, Kurzbeschreibung und Datenformat. Zur einfachen Handhabung wurden die Metadaten in einer EXCEL-Tabelle erfasst. Dabei werden jeweils die Bezüge zu INSPIRE³ und ISO 19115 hergestellt, so dass eine Übertragung von Feldinhalten in gängige – auch von ArcGIS 10 verarbeitbare – Metadaten-Formate möglich ist.

4) Erstellen von Hilfskarten für die Abgrenzungskriterien:

Durch Interpretation der recherchierten Datengrundlagen erfolgte die Attributierung der einzelnen Flächen im gesamten Einzugsgebiet der Emscher. Nachvollziehbar ist die Attributierung anhand von Zuordnungstabellen, die in einer Datenbank dokumentiert sind („URBIS_ER_Datenbank“). Im Ergebnis liegen diverse Hilfskarten für Flächennutzung, Substrat und Grundwasserstufe vor, deren Flächenobjekte einheitlich codiert sind (s. Tab. 3.1.3).

5) Auswahl und Aggregation flächenrelevanter Legendeneinheiten

Flächenbilanzen der Hilfskarten dienen zur Auswahl von Legendeneinheiten, die im Einzugsgebiet der Emscher einen relevanten Flächenanteil aufweisen (z.B. > 5 %) oder aus fachlichen Gründen interessant sind (z.B. Bahnflächen mit ihren besonderen Bodeneigenschaften). Ausgewählte Einheiten wurden sachgerecht zusammengefasst, z.B. Nutzungsarten mit geringen Flächenanteilen oder erwarteten ähnlichen Bodeneigenschaften bzw. bei den Substraten verschiedene Schlammarten oder verschiedene Mischsubstrate mit technogenen Materialien (Beispiele s. Tab. 3.1.4). Grundsätzliche Voraussetzung für das Zusammenfassen von Substraten sind vorwiegend erwartete ähnliche physikalische Eigenschaften.

³ Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE).

Tab. 3.1.3: Erstellte Arbeitskarten

Kriterium	Hilfskarte*	Maßstab	Stand	Quelle
Flächennutzung	AK Nutzung ATKIS	1 : 25.000	2009	ATKIS
	AK Nutzung FNK	1 : 5.000	2009	FNK
	AK Nutzung ALVF	k.A.	2002	ALVF
Substrat	AK Substrat BK50	1 : 50.000	2007	BK50
	AK Substrat IGK	1 : 25.000	2000	IGK
	AK Substrat Abfallkarte	1 : 50.000	1966	Abfallkarte
	AK Substrat ALVF	k.A.	2002	ALVF
	AK Substrat FNK	1 : 5.000	2009	FNK
GW	AK Grundwasser GME	k.A.	2010	GME

* Abkürzungen siehe Abschnitt 3.2.

Tab. 3.1.4: Aggregation flächenrelevanter Legendeneinheiten

Beispiel Legendeneinheit	Zusammenfassung von
Flächennutzung: Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb	Kokerei, Gaswerk
	Zeche, Schacht
	Zeche und Kokerei
	Bergbaubetrieb
Substrat : Schlamm unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung	Schlamm
	Klärschlamm
	Gichtgasschlamm
	Kalkschlamm
	Gipsschlamm
	Kohleschlamm

Die Flächenanteile der Legendeneinheiten im Einzugsgebiet der Emscher wurden jenen in den Modellgebieten Bottrop und Roßbach gegenübergestellt, um alle für den gesamten Emscherraum maßgeblichen Einheiten in der Konzeptbodenkarte zu berücksichtigen und die Repräsentativität der Modellgebiete zu prüfen.

6) Zusammenführen der Hilfskarten zu Arbeitskarten

Zunächst wurden die im vorangehenden Schritt ausgewählten Legendeneinheiten den Flächenobjekten der Hilfskarten zugeordnet. Dann erfolgte eine Validierung und ein Abgleich der Geometrie- und Sachdaten anhand exemplarischer Flächen und mittels der Moving Window-Methode im Modellgebiet Bottrop. Mit diesem Arbeitsschritt konnte geklärt werden, welche Information (z.B. ATKIS oder FNK) am besten geeignet ist, um Flächen hinsichtlich ihrer Nutzung bzw. ihres Substrates zu charakterisieren.

Schließlich erfolgt die Zusammenführung der Hilfskarten zu den drei Arbeitskarten

- 1) Flächennutzung: aktuelle oder historische Nutzung, die die Bodeneigenschaften maßgeblich beeinflusst;

- 2) Substrat: Substratgruppe und nach Möglichkeit einzelne Substrate, d.h. Bodenart/Lagerung für naturnahe Böden; Substratart für urbane Böden (Begriff entspricht nicht KA 5);
- 3) Grundwasserstufe: Grundwasserstufen in Anlehnung an Ad-hoc-AG Boden (2005), die den mittleren Grundwasserflurabstand bzw. den mittleren Grundwasserhochstand (Ad-hoc-AG Boden 2005) erfassen.

Die dazu erarbeiteten Regeln sind in Fließschemata dokumentiert (s. z.B. Abb. 3.1.2). Nach den Verschneidungen der Hilfskarten werden gleich attributierte Flächen zusammengeführt, es werden entstandene Splitterpolygone < 100 m² aufgelöst und es erfolgt eine Qualitätsprüfung sowie ggf. die Bereinigung von Überlappungen und Lücken. Die Fließschemata sind für eine Anwendung im gesamten Einzugsgebiet der Emscher einsetzbar.

7) Zusammenführen der Arbeitskarten zur Konzeptbodenkarte

Durch Verschneidung von Flächennutzung, Substrat und Grundwasserstufe entsteht schließlich die Konzeptbodenkarte, die Raumeinheiten mit ähnlich erwarteten Bodeneigenschaften darstellt (s. Abb. 3.1.3.).

Arbeitskarte Nutzung URBIS_ER (Attribute FNurbis = NutzCode, FNurbisH = Herkunft NutzCode)

Fett = Übernommenes Attribut für FNurbis

Abb. 3.1.2: Regeln für die Erstellung der Arbeitskarte Nutzung

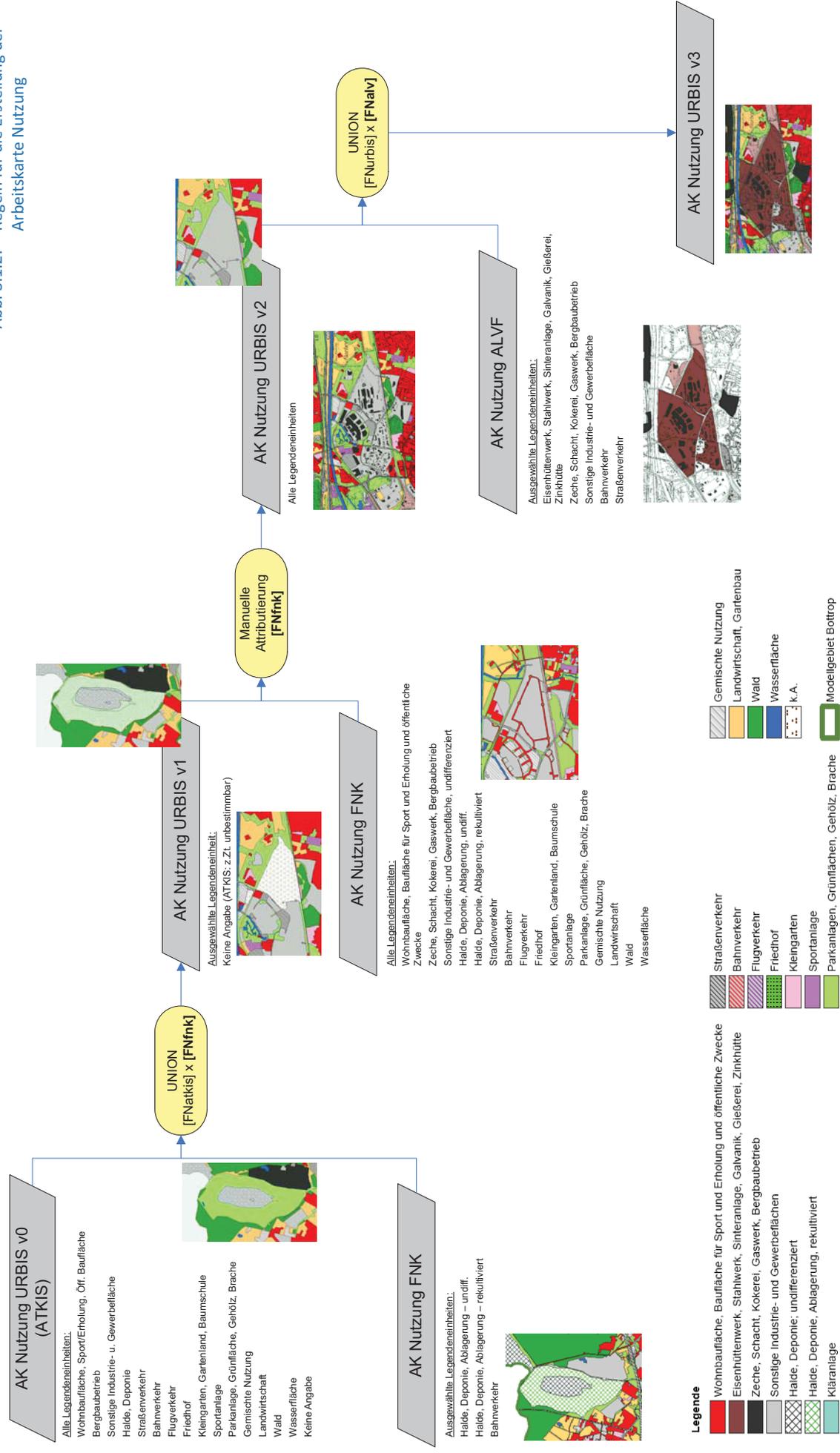
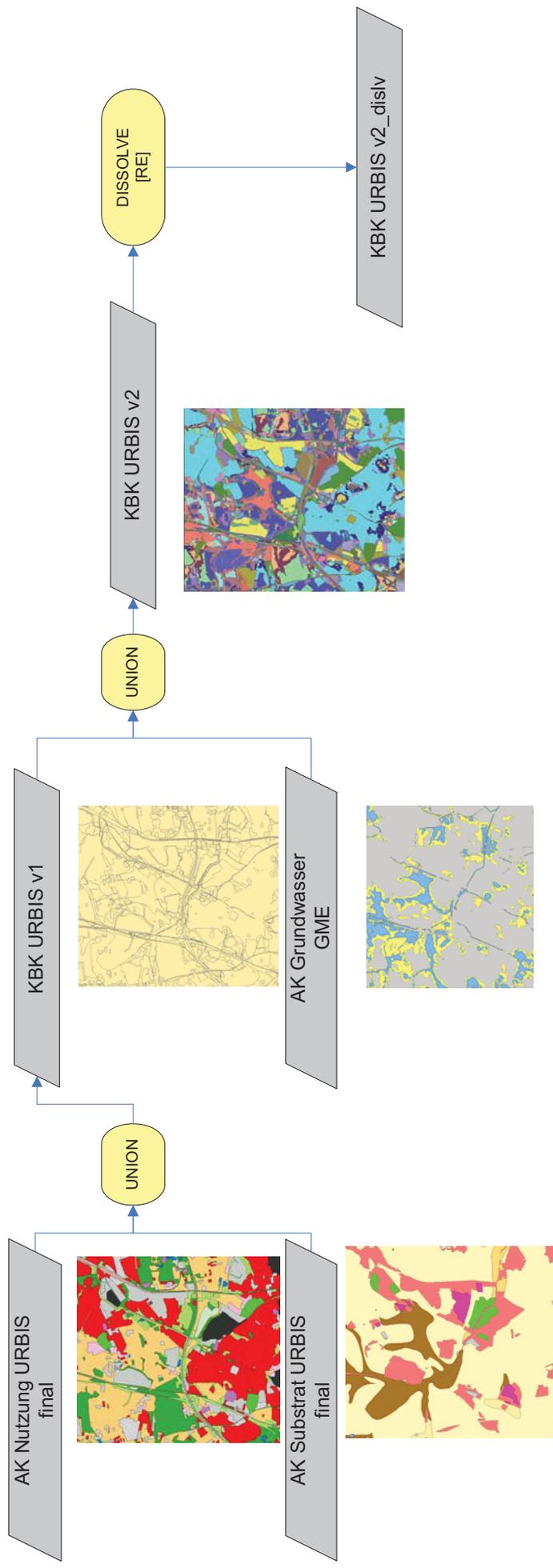


Abb. 3.1.3: Erstellung der Konzeptbodenkarte

Konzeptbodenkarte URBIS_ER

Attribut RE, bestehend aus den Attributen Fnurb, Sub2Urb, GwGME



3.2 Die Konzeptbodenkarte

Die Verschneidung der Arbeitskarten erbrachte 486 Raumeinheiten (RE) gleicher Nutzung, Substrate und GW-Stufen. Die 21 RE mit > 1 % Flächenanteil oder > 145 ha Gesamtfläche decken ca. 70 % des Untersuchungsgebiets ab.

Von den 21 Raumeinheiten ist anzunehmen, dass mindestens 14 RE heute anthropogen veränderte Bodeneigenschaften aufweisen. Sieben RE wurden weiter mit Bodeneigenschaften aus BK50 belegt. Wie die Ausführungen unter Abschnitt 3.4 zeigen, ist dieser Ansatz nach aktuellem Wissen (leider) wohl nicht mehr zulässig, da auch die land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen im Ruhrgebietsraum bereits stark anthropogen überprägt sind.

Die neuen anthropogen veränderten Bodenraumeinheiten > 1 % Flächenanteil wurden gutachterlich mit flächenhaft kleineren Raumeinheiten zusammengefasst.

So wurden zum Beispiel der Raumeinheit „Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb“ mit dem Substrat „Auffüllung/Anschüttung Material unbekannt“, welche 4,3 % der Untersuchungsfläche abdeckte, alle weiteren RE „Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb“ mit den unterschiedlichsten Substraten zugeordnet, so dass diese neue Raumeinheit letztlich in Bottrop 6,3 % der Fläche umfasste. Insgesamt erbrachte die Verschneidung der Arbeitskarte 24 unterschiedliche RE mit der Nutzung „Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb“, die sich dann hinsichtlich der Substrate und GW-Stände unterscheiden.

Durch diese gutachterlichen Zusammenfassungen beträgt der neu bewertete Flächenanteil (s.u.) in Bottrop 71 % und der im Roßbachgebiet 67 %.

Die Tabelle 3.2.1 zeigt die Flächenanteile der neuen Bodenraumeinheiten im Untersuchungsgebiet Bottrop. Mit rund 35 % prägt die neue Bodenraumeinheit „Wohnbaufläche, Baufläche für Sport und Erholung und öffentliche Zwecke (incl. Sportanlagen)“ das Untersuchungsgebiet am stärksten.

Werden alle Bodenraumeinheiten, die eindeutig der Industrie und dem Gewerbe zuzurechnen sind (graue Flächen in Abb. 3.3.1), sowie die Bodenraumeinheiten „Bahnanlagen“ und „Halde, Deponie, Ablagerung“ aufsummiert, beträgt deren Flächenanteil zusammen fast 24 %. In Bottrop dominieren flächenmäßig sandgeprägte Bodenraumeinheiten. Im südöstlichen Untersuchungsgebiet finden sich auch schluff-/lehmgeprägte Bodenraumeinheiten. In Testgebiet Roßbach dominieren die schluff-/lehmgeprägten Bodenraumeinheiten (vgl. Abb. 3.3.2).

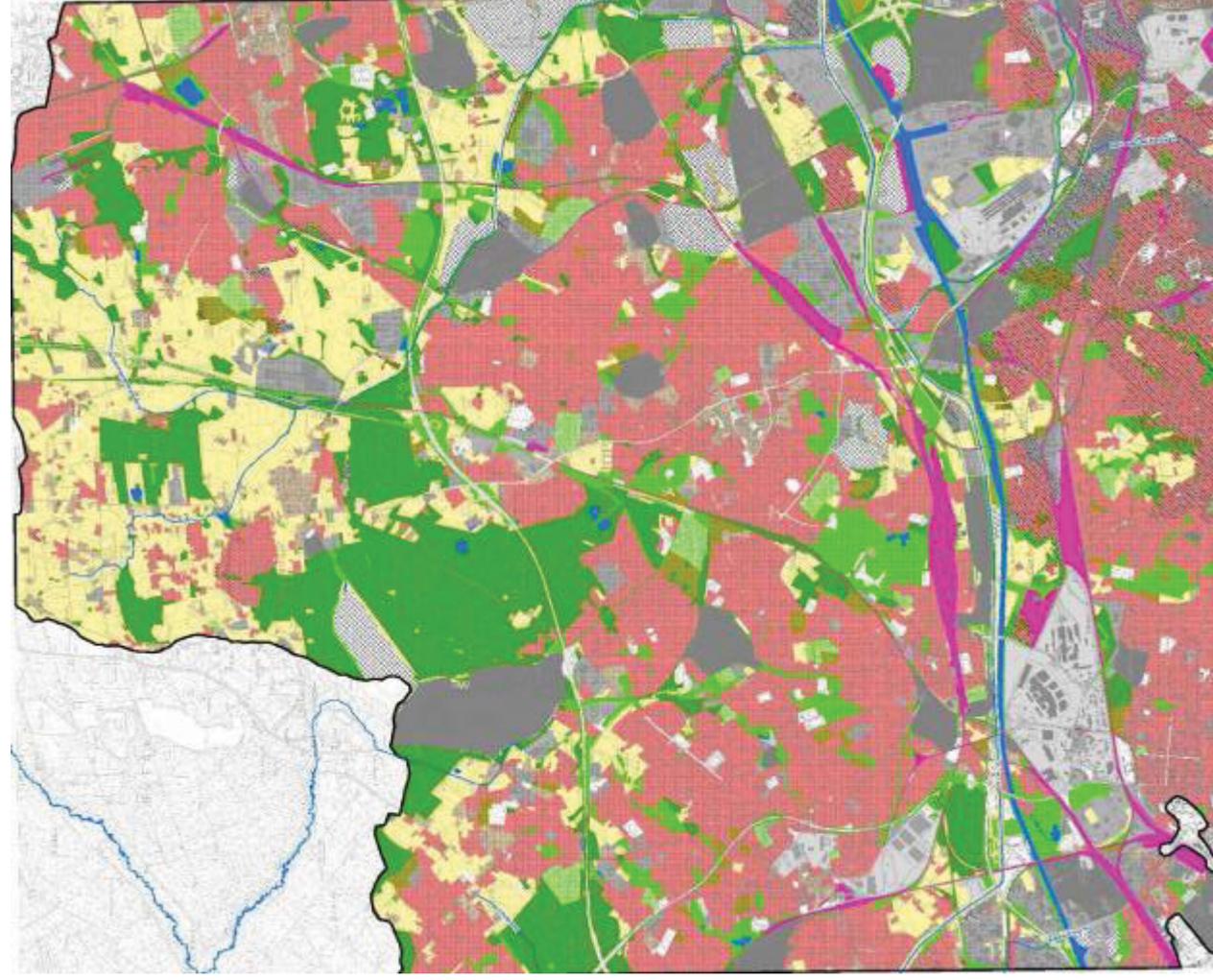
Zukünftig sollten auch durch Straßenbaumaßnahmen und vom Straßenverkehr beeinflusste Böden als eigene Bodenraumeinheiten im URBIS-ER integriert werden. So sind z.B. im ATKIS die Flächen innerhalb von Autobahnkreuzen aktuell noch überwiegend als Landwirtschaftliche Flächen ausgewiesen. Zurzeit erfolgt im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen eine Charakterisierung der straßennahen Böden im Hinblick auf die wichtigsten Bodenfunktionen. Wenn diese Ergebnisse vorliegen, wird es zukünftig möglich sein, auch diese Bodenraumeinheiten in URBIS-ER mit auszuweisen.

Tab. 32.1: Flächenanteile der neuen Bodenraumeinheiten im Untersuchungsgebiet Bottrop

Bodenraumeinheit	Substrat Region	Fläche	
		[ha]	[%]
Wohnbaufläche, Baufläche für Sport und Erholung und öffentliche Zwecke (incl. Sportanlagen)	sandgeprägt	4.296	29,6
	schluff-/lehmgeprägt	678	4,7
	undifferenziert	72	0,5
Landwirtschaft		2.196	15,1
Wald		1.632	11,2
Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache	sandgeprägt	755	5,2
	schluff-/lehmgeprägt	178	1,2
	undifferenziert	129	0,9
Sonstige Industrie- und Gewerbefläche, undifferenziert	sandgeprägt	701	4,8
	schluff-/lehmgeprägt	178	1,2
	undifferenziert	431	3,0
Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb		918	6,3
Eisenhüttenwerk, Stahlwerk, Sinteranlage, Galvanik, Gießerei, Zinkhütte		496	3,4
gemischte Nutzung	sandgeprägt	402	2,8
	schluff-/lehmgeprägt	58	0,4
	undifferenziert	10	0,1
Bahnverkehr		392	2,7
Halde, Deponie, Ablagerung		316	2,1
Kleingarten, Gartenland, Baumschule	sandgeprägt	169	1,2
	schluff-/lehmgeprägt	52	0,4
	undifferenziert	9	0,1
Friedhof	sandgeprägt	146	1,0
	schluff-/lehmgeprägt	12	0,1
	undifferenziert	1	0,0
Straßenverkehrsflächen ^x		214	1,5
Wasserfläche		144	1,0
Gesamt		14.523	100,0

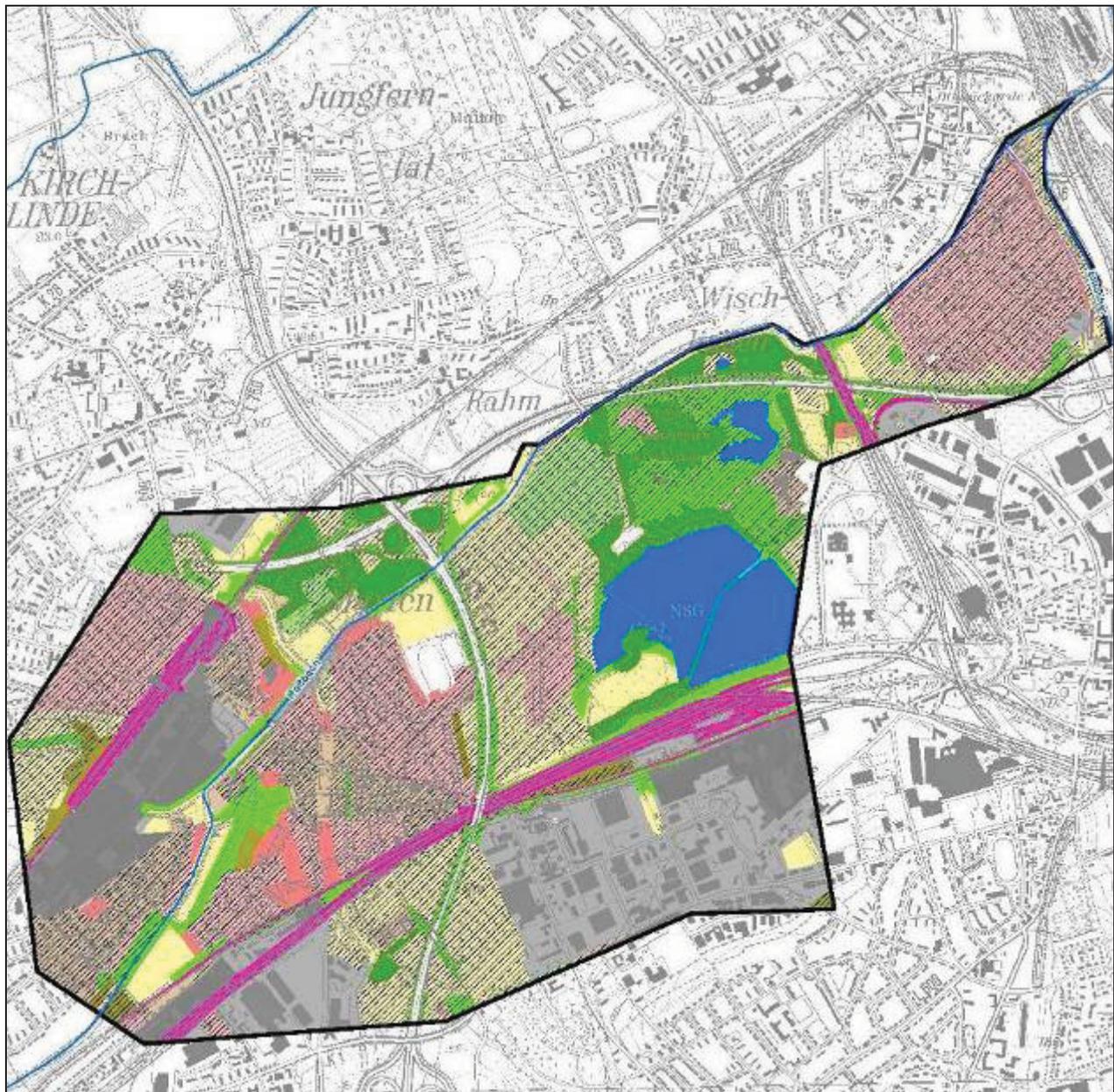
^x Die Straßenverkehrsflächen wurden dem ATKIS (Amtliches Topographisches-Kartographisches Informationssystem) entnommen und innerhalb von Flächen, die in ATKIS als „z.Zt. unbestimmbar“ gekennzeichnet sind, durch Flächen des FNK (Flächennutzungskataster des RVR) ergänzt. Weiterhin wurden Straßenverkehrsflächen innerhalb des ALVF (Altlastenverdachtsflächenkataster) integriert (vgl. Abb. 3.1.2). Aufgrund des mittleren Maßstabs weist ATKIS im Untersuchungsgebiet Bottrop einen geringeren Flächenanteil an Straßenverkehrsflächen aus als die detailliertere FNK mit 539 ha (3,7 %). Im Hinblick auf die Weiterentwicklung des URBIS_ER für Straßenverkehrsflächen wird auf S. 14 unten verwiesen.

Abb. 3.3.1: Konzeptbodenkarte Testgebiet Bottrop



Konzeptbodenkarte

- Wohnbaufläche (ca. 2/3 der Böden Mischsubstrate)
- Parkanlage, Grünfläche, Gehöfz, Brache (i.d.R. Mischsubstrate von Bauschutt, Aschen, Schlacken, Berge und Schlämmen)
- Kleingärten, Gartenland (humusreich, häufig Mischsubstrate mit viel Asche)
- Friedhof (oft humusreich, teilweise Mischsubstrate)
- Gemischte Nutzung (häufig Mischsubstrate)
- Halde, Deponie, Ablagerung (vornehmlich Berge aber auch Schlämme, Schlacken/Aschen und Mischsubstrate)
- Bahnlflächen (Oberboden Schienenbereiche häufig Schlacken-, Basalt-, Kalksteinskelett mit Aschen und Abrieb gefüllt; Unterboden und Schienenbegleitwege häufig Schlacken, Bergematerial und Aschen)
- Eisenhütten- und Metallindustrie (vornehmlich Mischsubstrate aus Schlacken/Aschen, Schlämmen und Bauschutt, vereinzelt Berge und natürliches Bodenmaterial)
- Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb (vornehmlich Mischsubstrate mit viel Berge, Bauschutt und z. T. Schlämmen)
- Sonstige Industrie- und Gewerbefläche (häufig Mischsubstrate)
- Landwirtschaft
- Forstwirtschaft
- Gewässer
- sandgeprägt
- lehm- / schluffgeprägt



Konzeptbodenkarte

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Wohnbaufläche (ca. 2/3 der Böden Mischsubstrate) Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache (i.d.R. Mischsubstrate von Bauschutt, Aschen, Schlacken, Berge und Schlämmen) Kleingarten, Gartenland (humusreich, häufig Mischsubstrate mit viel / Friedhof (oft humusreich, teilweise Mischsubstrate) Gemischte Nutzung (häufig Mischsubstrate) Halde, Deponie, Ablagerung (vornehmlich Berge aber auch Schlamm Schlacken/Aschen und Mischsubstrate) Bahnflächen (Oberboden Schienenbereiche häufig Schlacken-, Basalt-, Kalksteinskelett mit Aschen und Abrieb gefüllt; Unterboden und Schienenbegleitwege häufig Schlacken, Bergematerial und Aschen) | <ul style="list-style-type: none"> Eisenhütten- und Metallindustrie (vornehmlich Mischsubstrate aus Schlacken/Aschen, Schlämmen und Bauschutt, vereinzelt Berge und natürliches Bodenmaterial) Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb (vornehmlich Mischsubstrate mit viel Berge, Bauschutt und z.T. Schlämmen) Sonstige Industrie- und Gewerbefläche (häufig Mischsubstrate) Landwirtschaft Forstwirtschaft Gewässer sandgeprägt lehm- / schluffgeprägt |
|---|--|

Abb.3.3.2: Konzeptbodenkarte Testgebiet Roßbach

3.3 Validierung der Konzeptbodenkarte

Es erfolgte eine Bodenkartierung zur Überprüfung der getroffenen Ableitungen sowie zur Verdichtung der Stadtbodendatenbank zur Attributierung der neuen Bodenraumeinheiten (vgl. Kap. 4).

Die Auswahl der Kartierstandorte erfolgte:

- mit dem Schwerpunkt auf Böden mit technogenen Substraten;
- in Raumeinheiten mit einem Anteil > 1 % oder >145 ha der Fläche im Testgebiet Bottrop;
- als Ergänzung von Bodengruppen mit geringer Fallzahl in der Stadtbodendatenbank;
- zur Datengewinnung für Fragestellungen weiterer *dynaklim*-Projekte (Bodenklimatische Untersuchungen in der strukturgewandelten Industriestadt Oberhausen (A 4.1.3) der Universität Duisburg-Essen sowie Stadt Bottrop/ahu AG: Ermittlung der Kühlungsleistung von Böden im Rahmen einer BSC-Arbeit (Damm et al. 2011);
- unter Berücksichtigung der Klimatop-Karte Ruhrgebiet (RVR-Karte).

Bekannte Aufschluss-Bohrungen von der EG und GD NRW sowie von universitären Arbeiten wurden bei der Standortwahl berücksichtigt, d.h. bereits gut untersuchte Flächen wurden im URBIS-Kartierprogramm ausgespart. Perspektivisch ist es sinnvoll zu prüfen, inwieweit sich die Profilbeschreibungen und Untersuchungsergebnisse dieser Aufschlussbohrungen nutzen lassen, um weitere Informationen zu den Bodeneigenschaften zu gewinnen. Interessante Ansätze zur bodenkundlichen Auswertung dieser Bohrdatenbestände liegen vor (vgl. hierzu auch Abschn. 4.5).

Im Testgebiet Bottrop wurden 35 Rammkernsondierungen und 17 Schürfe angelegt. Am Roßbach wurden 12 Rammkernsondierungen und 4 Schürfe niedergebracht. An allen Standorten wurde der KA5-Mindestdatensatz aufgenommen, ergänzt durch genauere Substratangaben und pH-Wertmessungen. Die Rammkernsonden, Profile und die Standortumgebungen wurden fotografisch dokumentiert (vgl. Anhang 1 - Auswahl Profilbeschreibungen). Die Profile wurden beprobt und chemische und physikalische Analysen durchgeführt (vgl. Tab. 3.3.1). Dabei wurde aus Kostengründen eine gutachterliche Probeauswahl getroffen.

Tab. 3.3.1: Durchgeführte Laboranalysen (ausgewählte Proben der Referenzprofile)

Analyse	Einheit	Methode
Grob-/Feinboden [> / < 2mm]	Masse- %	Trockensiebung
Trockenraumdichten	g cm ⁻³	Stechringnahme (DIN ISO 11272)
pH-Werte (0,01 mol CaCl ₂)		DIN ISO 10390 (1997)
Kohlenstoff (TC + TOC)	Masse- %	DIN ISO 10694
Carbonate (Scheibler)	Masse- %	Volumetrisches Verfahren, DIN ISO 10693 (1997)
Schwermetalle Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Hg, As, Fe, Mn	mg kg ⁻¹	Königswasseraufschluss Feststoff (DIN ISO 11466)
	µg l ⁻¹	2:1 Eluat, Schüttelverfahren (DIN 19528 2009)
	µg l ⁻¹	Säulenuelat, Perkulationsverfahren (DIN 19528 2009)
kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse	Masse- %	DIN ISO 11277
PAK	mg kg ⁻¹	EPA-Standard im Feststoff
Sulfat	µg l ⁻¹	Eluat
(nutzbare) Feldkapazität	Vol- %	Stechringnahme
Luftkapazität	Vol- %	Stechringnahme
Wasserleitfähigkeit	cm s ⁻¹	Stechringnahme

Die Bodenkartierungen wurden von Bönsch & Schomers (Angewandte Bodenkunde und Umweltanalysen, Köln) durchgeführt. Die Ermittlung des Gesamtporenvolumens, der Luftkapazität, der nutzbaren Feldkapazität und des permanenten Welkepunktes für ausgewählte technogene Substratproben erfolgte an der Hochschule Osnabrück (Dr. Makowsky / Prof. Dr. K. Müller). Die übrige Bodenanalytik führte die WESSLING Laboratorium GmbH (Bochum) durch.

Die Tabelle 3.3.2 zeigt die Ergebnisse der Feldvalidierung der neuen Bodenraumeinheiten, getrennt nach den 3 Hauptcodes.

Tab. 3.3.2: Ergebnisse der Feldvalidierung der Konzeptbodenkarte

Raumeinheit	Standorte	Code		
		stimmt	stimmt nicht, aber akzeptabel	stimmt nicht
NutzCode	51	42	4	5
SubCode	51	31	10	10
GWCode	51	45	1	5

An den 5 Standorten, wo der NutzCode nicht stimmt, liegt in der Karte eine landwirtschaftliche Flächennutzung vor, in der Realität treten aber Wohnbebauung (n = 2) oder Brachflächen (n = 3) auf. Im Fall der 4 Standorte, wo der NutzCode nicht stimmt, aber als akzeptabel anzusehen ist, wurden bei der Erstellung der Konzeptbodenkarte historische Flächennutzungen priorisiert (z.B. Eisenhütten- und Metallindustrie) und liegt heute in allen Fällen die aktuelle Flächennutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“ vor.

In den 10 Fällen, wo der SubCode

- nicht stimmt, liegt an 7 Standorten statt natürlicher Böden aufgeschüttetes Bodenmaterial mit technogenen Substraten und an einem Standort umgelagertes natürliches Bodenmaterial vor. An 2 Standorten wurden statt aufgeschüttetem Bodenmaterial mit technogenen Anteilen noch naturnahe Böden angetroffen;
- nur bedingt stimmt, liegen in 9 Böden, außer den angenommenen, weitere technogene Substrate vor und in einem naturnahen Boden tritt lehmiges statt sandiges Bodenmaterial auf.
- An den 5 Standorten, an denen der GWCode nicht stimmt, haben 4 Böden keinen GW-Anschluss, wie zuvor angenommen, und liegt 1 Boden im GW-Einfluss (oder vielleicht auch Stauwassereinfluss), der zuvor nicht vermutet wurde.
- In einem Fall erfolgte die Beprobung in einer Aufschüttung. Die Vegetation der umgebenden und nicht aufgeschütteten Fläche deutet auf einen GW-Anschluss der Böden hin, so dass hier in der Validierung ein ‚stimmt nicht aber akzeptabel‘ gesetzt wurde.
- Alle Teil-Codes stimmen nur an 22 von den 51 Standorten. Werden aber die historische Flächennutzung & eine größere Substratvielfalt als noch akzeptabel angenommen, stimmte die Karte an 36 von 51 Standorten (= 71 %).
- Insgesamt betrachtet hat sich somit die erstellte Konzeptbodenkarte für einen anthropogen so intensiv genutzten Raum (mit Polderbewirtschaftung, Bergsenkungen usw.) als deutlich zutreffender erwiesen, als zuvor angenommen wurde.

Als Fazit der Validierung lässt sich zusammenfassen:

- Die Kartierungsergebnisse bestätigen das Raumeinheitenmodell.
- Der Differenzierungsgrad ist für die regionale Ebene geeignet.
- Es liegen nur selten technogene Monosubstrate vor. Am häufigsten noch auf Halden und Depo-nien.
- Je nach Fragestellung kann weiter vereinfacht werden.
- Mit zunehmenden Validierungserfahrungen kann weiter optimiert werden.
- Mittels Geoprocessing und ergänzender Kartierung ist das Modell auf den Emscherraum über-tragbar.

Als zeitintensiv und wichtig erwies sich das Management der Bohrkampagne sowie die sorgfältige Qualitätssicherung der Daten.

4 Attributierung der neuen Bodenraumeinheiten

Zur Attributierung (Eigenschaftszuweisung) der neuen Bodenraumeinheiten wurde eine Stadtbodendatenbank mit Bodenprofilen aus dem Ruhrgebietsraum aufgebaut. Diese Stadtbodendatenbank enthält zurzeit (Stand Okt. 2011):

- 52 Profile aus Literaturdaten stadtbodenkundlicher Arbeiten von:
- Burghardt et al. 2000a, 2000b, 2000c,
- Burghardt & Milbert (2007),
- GLA (2000),
- Hiller (1996),
- Hermann (1998),
- Höke et al. (2000),
- Mansfeld (2001),
- Mengede (2002),
- Vogt (2002),
- 50 Profile aus diesem *dynaklim*-Projekt zur Validierung der Konzeptbodenkarte (ahu AG Aachen, Bönsch & Schomers).

Somit liegen 102 Profile vor. Den Profilen sind NutzCode (sowie historische NutzCodes), SubCode und GWCode zugeordnet (s.o.). Somit lassen sich für die Eigenschaftszuweisung aus der Datenbank jeweils die Profile herausfiltern, die aus einer bestimmten Raumeinheit stammen. Daraus abgeleitet werden für die flächenmäßig relevanten Informationsschichten der Konzeptbodenkarte mittlere oder klassifizierte substratabhängige Bodeneigenschaften. Im Fall, dass gar keine Substrataussagen getroffen werden können, werden (gewichtete) Mittelwerte oder Mediane des regionalen Stadtbodenpools eingesetzt.

Von den 102 Profilen der Datenbank lassen sich 44 den sandigen, 30 den schluffigen, 8 den lehmigen und 2 den organischen Bodeneinheiten in der AK Substrat, abgeleitet aus der BK50, zuordnen. 18 Profile liegen in Einheiten, die auch bereits in der BK50 überprägten Bereichen zuzuordnen sind. Eine gesonderte Charakterisierung lehmiger Bodeneinheiten erfolgte aufgrund der geringen Profilanzahl noch nicht. Die schluffigen und lehmigen Einheiten werden zunächst als eine Gruppe behandelt.

Die Abbildung 4.1 zeigt in einer Übersicht, wie sich die Böden aus der Stadtbodendatenbank auf die aktuellen Flächennutzungseinheiten verteilen und aus welchen Substraten sie sich zusammensetzen. Noch naturnahe Böden liegen ebenso wie Böden aus technogenen Monosubstraten selten vor. Auch wenn die Böden noch nicht mit ortsfremdem Bodenmaterial oder technogenen Substraten vermischt wurden (gelbe Farben in der Abb. 4.1), können sie bereits umgelagert oder mit ortsüblichem Bodenmaterial überlagert worden sein.

Es dominieren Mischsubstrate. Überwiegend liegen Mischungen natürlichen Bodenmaterials mit technogenen Substraten vor. Ab und zu finden sich auch Mischungen nur aus technischen Substraten. Dies deckt sich mit Literaturangaben (z.B. Cordsen 1993, Holland 1996). Auch Hiller & Meuser (1998) zeigen in einer Untersuchung von rund 900 Bodenhorizonten bis 1 m Tiefe im Essener Stadtgebiet, dass nur noch 33 % der Böden keine und nur noch 11 % geringe technogene Beimengungen aufwiesen. Gut 39 % der Böden bestanden aus Gemengen von natürlichen und technogenen Substraten und 17 % aus Gemengen technogener Substrate. Nur 3 % waren technogene Monosubstrate.

In sehr wenigen Fällen ist auch ortsfremdes natürliches Bodenmaterial mit ortsüblichem natürlichem Bodenmaterial vermischt oder überlagert worden. Auch diese Böden werden zurzeit in dieser Arbeit noch als Mischsubstrate mit erfasst.

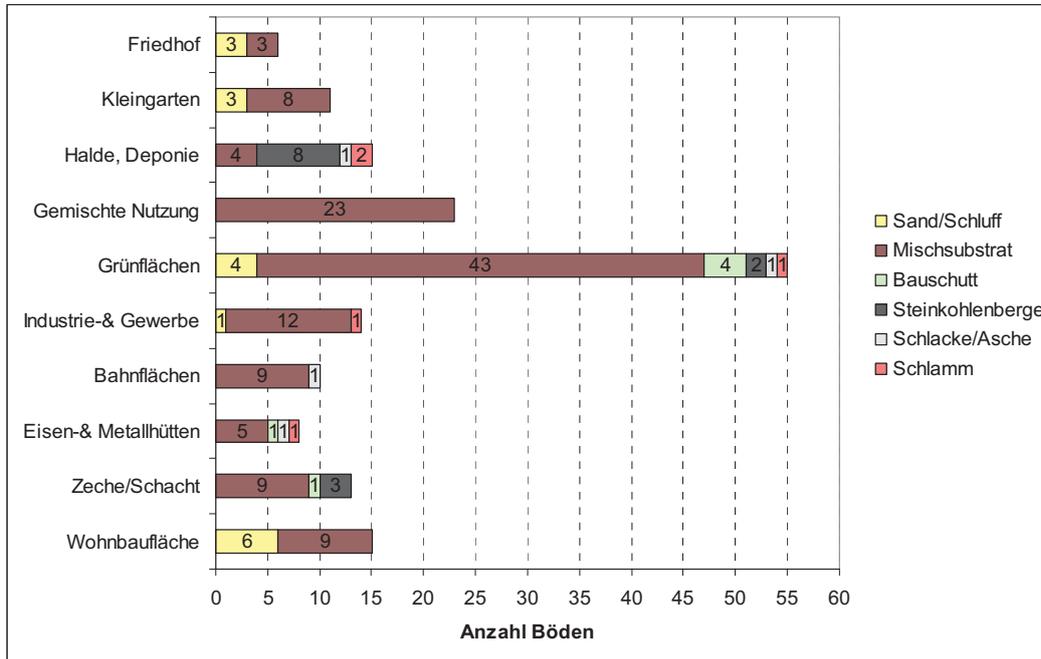


Abb. 4.1: Übersicht Nutzung und Substrat der Böden

Substratvorkommen/-verteilungen in den Böden im Emscherraum

Eine Auswertung der Karte „Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen“ (DMT/EG 1966-1968) für das Einzugsgebiet der Emscher zeigt, dass die Hauptkomponentengruppen Bergematerial, Müll, Bauschutt, Klärschlamm und Asche/Schlacke 2.856 ha bedecken und rund 85 % der in der Karte für 1962/1963 angegebenen Ablagerungen an Abfallstoffen beschreiben (vgl. Tab. 4.1). Eine stichprobenhafte Überprüfung ergab, dass die Substratangaben in der Karte „Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen“ nicht immer stimmen. So zeigt die Abfallkarte z.B. in Herne/Wanne eine Bergematerialhalde an einem Standort, an dem von 1920 bis 1983 die Gichtgasschlämme von 3 Hochöfen verspült wurden. Dadurch bestehen heute große Bereiche der Fläche aus abgetrockneten Gichtgasschlammbecken, getrennt durch überwiegend aus Gießereiabfällen bestehenden Wandungen (Mansfeld 2001).

Häufiger wurden bei der Validierung der Karte „Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen“ (DMT/EG 1966-1968) und auch der Konzeptbodenkarte mehr unterschiedliche technologische Substrate am Standort aufgefunden als zuvor angegeben. Die aufgeführten Substrate sind in der Regel aber auch aufzufinden.

Die Abbildung 4.2 zeigt die prozentualen Anteile der technologischen Substrate in der Karte „Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen“ (DMT/EG 1966-1968) im Einzugsgebiet der Emscher. Demnach dominiert Bergematerial, gefolgt von Müll und Bauschutt. Auch Klärschlämme und Asche/Schlacke stellen bedeutende Anteile.

Nach den Untersuchungen von Hiller & Meuser (1998, rund 900 Bodenprofile bis 1 m Tiefe im Essener Stadtgebiet) stellte der Bauschutt den höchsten Anteil an den angetroffenen technologischen Substraten. So enthalten 46 % aller Profile Ziegel und 24 % Mörtel. Gips, Beton, Stahlbeton, bituminöser oder teerhaltiger Straßenaufbruch spielten nur eine untergeordnete Rolle.

Am zweithäufigsten wurde Bergematerial angetroffen. Aschen sind insgesamt weniger verbreitet als Bauschutt, aber häufiger als die Schlacken. Hervorzuheben sind die Rostaschen, während die Hausbrandasche außer in Gärten kaum Bedeutung erlangt. Ein hoher Anteil an Aschen ist auch bei was-

sergebundenen Decken nachzuweisen, zurückzuführen auf das Schmelzkammergranulat, das im Winterdienst als Streumittel Verwendung findet. Ein hoher Anteil an Schlacken lag vor allem auf Bolzplätzen und anderen versiegelten Flächen vor, für deren Tragschichtenbau Schlacken Verwendung finden. Dabei dominierten Hochofenstüchschlacken (Hiller & Meuser 1998).

Tab. 4.1: Substrate und prozentuale Flächenanteile im Einzugsgebiet der Emscher aus der Karte Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen (Quelle: DMT/TWTH/GD-Aufnahme 60er bis 70er Jahre)

	Substrat	Flächenanteil			
		[ha]			[%]
		gesamt	Anschüttung	Auffüllung	gesamt
1	Asche/Schlacke	160	113	47	0,18
2	Asche/Schlacke, Bergematerial	21	21	-	0,02
3	Asche/Schlacke, Bergematerial, Bauschutt	55	55	-	0,06
4	Bauschutt	449	344	105	0,51
5	Bauschutt, Asche/Schlacke	4	4	-	0,00
6	Bauschutt, Bergematerial	68	62	7	0,08
7	Bauschutt, Berge, Müll	48	14	34	0,05
8	Bauschutt, Klärschlamm	15	10	5	0,02
9	Bergematerial	1323	1248	75	1,51
10	Bergematerial, Klärschlamm	7	7	-	0,01
11	Bergematerial, Müll	61	37	24	0,07
12	Bergematerial, offene Seenflächen				0,00
13	Industrie-Müll	54	54	-	0,06
14	Industrie-Müll, Bauschutt	15	15	-	0,02
15	Industrie-Müll, Bergematerial	3	3	-	0,00
16	Klärschlamm	200	192	2	0,23
17	Müll	722	601	121	0,82
18	Müll, Asche/Schlacke	15	15	-	0,02
19	Müll, Bauschutt	87	71	16	0,10
20	Müll, Industriegemüll	16	16	-	0,02
21	Müll, Klärschlamm	48	48	-	0,05
		3.371	2.930	436	3,84

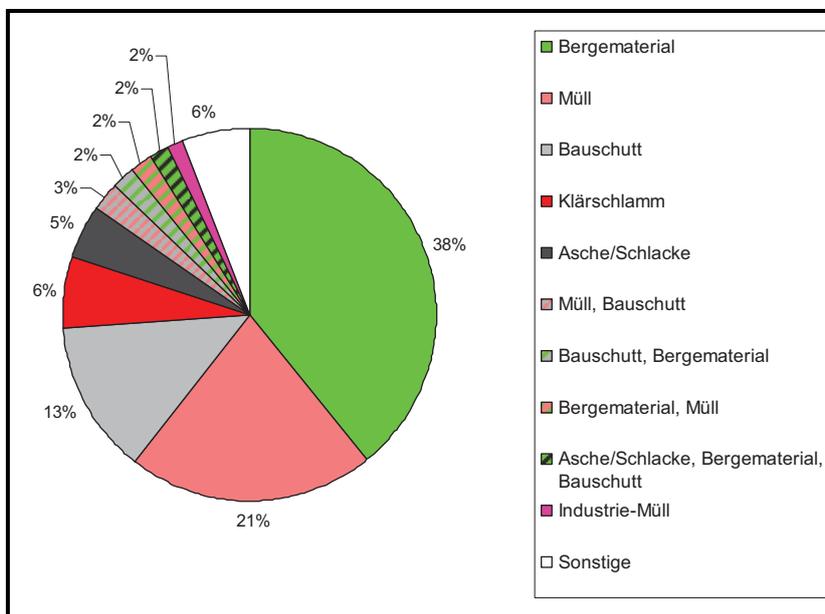


Abb. 4.2: Prozentuale Anteile der technogenen Substrate in der Karte Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen im Einzugsgebiet der Emscher (3.371 ha Gesamtfläche an Ablagerungen = 100 %)

In 20 % aller untersuchten Bodenhorizonte wurden in Essen Kohlepartikel festgestellt. Untersuchungen aus Gelsenkirchen ergaben sogar in 41 % aller Bodenproben partikuläre Kohlebeimengungen. In Gelsenkirchener Stadtböden wurden in 77 % aller Bodenproben Ziegel- und in 41 % Mörtelbeimengungen registriert (Herget 1992, aus Hiller & Meuser 1998).

Auch wenn die obigen Quellen immer nur ‚Ausschnitte der technogenen Ablagerungen‘ zeigen, lässt sich daraus ableiten, dass vor allem Bergematerial, Müll, Bauschutt, Klärschlamm, Asche und Schlacke in Mischung mit natürlichem Bodenmaterial des jeweiligen Betrachtungsraumes heute die **‚neuen‘ Bodenausgangsgesteine** der jungen Böden im Emscherraum bilden.

Charakteristika der Mischungen

Urbane Böden sind oft Mehrschichtböden und die einzelnen Schichten wurden zu unterschiedlichen Zeiten aufgetragen. Daher finden sich immer wieder durch Bodenbildungsprozesse entstandene, humose ehemalige Oberböden in den Profilen, die dann erneut überdeckt wurden.

Technogene Substrate wurden entweder gezielt zur Erfüllung bestimmter Flächennutzungsansprüche (oft schichtige Abfolge) oder zur Entsorgung (mächtige Pakete, Gemische) deponiert. Aschen und Bergematerial werden aufgrund ihrer durch die Kornform bedingten Scherfestigkeit primär zur Platz- und Wegebefestigung verwendet. Schlacken werden in vielfältiger Form zu Baustoffen weiterverarbeitet (Gleisschotter, Straßen- und Deichbau). In den meisten Fällen erfolgte ein schichtiger Aufbau der Ablagerungen, so dass Böden mit sehr unterschiedlichen Substratschichten(-horizonten) entstanden. Zur Deponierung werden die Substrate hingegen überwiegend in Packen in Geländemulden abgekippt. Durch Umlagerungen werden diese Packen auch durchmischt und es entstanden unregelmäßig zusammengesetzte Substrate. Durchmischungen erfolgten auch, wenn noch flüssige Schlämme eingebracht wurden (AK Stadtböden 1996).

Häufiger sind die Mischsubstrate oder die rein technogenen Substrate – zur besseren direkten Nutzbarkeit – oberflächlich geringmächtig wieder mit natürlichem Bodenmaterial überdeckt (Vegetationsdecke, Schutz vor Direktkontakt und Staubbildung). Diese geringmächtigen Auflagen (vgl. z.B. Foto 2 oder Foto 10 im Anhang 1) reichen aber nicht aus, um die Funktionsverluste im Vergleich zu den naturnahen Böden auszugleichen (s.u.). Durch das überwiegende Vorliegen von Mischsubstraten werden aber einige der sonst sehr extremen Standorteigenschaften der neuen Böden, wie sie auf Monosubstraten auftreten können, abgepuffert. So zeigt Makowsky (2009), dass Böden mit Bergematerial als Beimengungen häufig pH-Werte um 5-6 aufweisen und nicht pH-Werte um 3, wie sie sich für einige Jahre oder Jahrzehnte auf reinem Steinkohlenbergematerial ausbilden können (Wiggering & Kerth 1991).

Nach der anthropogenen Lithogenese setzt die Pedogenese (Bodenbildung) ein. Die Forschung über Bodenbildungsprozesse in Stadt- und Industrieböden hat gerade erst begonnen. Die oft schnell ablaufenden pedogenetischen Prozesse in den jungen Böden werden in der Zukunft wesentlich den Wasser- und Stoffhaushalt dieser Böden und damit auch der Grund- und Oberflächengewässer im Emscherraum beeinflussen. Sie sollten daher bei Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel berücksichtigt werden (vgl. Höke et al. 2011).

4.1 Ableitung der bodenkundlichen Kenngrößen aus der Stadtbodendatenbank

Die **bodenkundlichen Kenngrößen**, die aus den im Feld kartierten Bodenmerkmalen abgeleitet werden, sind für alle 102 Profile überschlägig berechenbar. Für einige Werte, wie z.B. die Fe_t -Gehalte, ist die vorhandene Anzahl an Profilen mit vollständigem Datensatz geringer ($n = 68$), da z.B. nur 20 der 50 zur Validierung erhobenen Böden im Labor auch auf ihre Schwermetallgehalte hin untersucht wurden. Auch für die Profile der Stadtbodendatenbank aus der Literatur liegen nicht immer alle Bodenwerte vor.

Ein Abgleich zwischen abgeleiteten und gemessenen Bodenkennwerten sowie die Entwicklung von einigen neuen Hintergrundtabellenwerten und Kenngrößen für die urbanen Böden ist kürzlich im BMBF REFINA Projekt zur Funktionsbewertung urbaner Böden erfolgt (z.B. Höke et al. 2009, Rück et al. 2009). Die Ergebnisse aus dem REFINA-Forschungsprojekt sind in die Berechnungen eingeflossen.

In einem ersten Schritt erfolgt die Attributierung der flächenmäßig am häufigsten auftretenden anthropogenen Bodenraumeinheiten im Untersuchungsgebiet Bottrop (vgl. Kap. 3). Anschließend werden den naturnahen Böden (Bodenraumeinheiten) die vorhandenen Kennwerte aus der Bodenkarte und der Bodensickerwasserkarte 1 : 50.000 zugeordnet, welche vom GD NRW für die jeweiligen Bodeneinheiten angegeben werden. Nach neuen Erkenntnissen ist dieser Ansatz im Emscherraum jedoch ebenfalls zu überdenken (vgl. Abschn. 6.1.3).

Bei einer Ausweitung von URBIS-ER auf den gesamten Emscherraum sollten daher auch die Bodenraumeinheiten Land- und Forstwirtschaftliche Flächen sowie Naturschutzgebiete usw. neu attribuiert werden.

Für die flächenrelevanten neuen Bodeneinheiten sowie für die Flächennutzungen „Halde, Deponie und Ablagerung“, „Kleingarten, Gartenland und Baumschule“ und „Friedhof“ wurden aus der Stadtbodendatenbank (Stand Okt. 2011) folgende Kennwerte errechnet:

- nFKWe (nutzbare Feldkapazität des Feinbodens in mm in der effektiven Durchwurzelungstiefe, im Folgenden auch als pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität bezeichnet). Berechnet nach Ad-hoc-AG Boden (2005) + Erweiterungen aus dem BMBF-REFINA-Projekt (z.B. David & Schneider 2008).
- SWRj_TUB (langjährige mittlere jährliche Sickerwasserraten in mm). Berechnet nach dem TUB_BGR-Verfahren für alle Böden für die Nutzung Grünland, da hier ein Vergleich der Bodenleistungen erfolgen soll (Ad-hoc-AG Boden 2003).
- ETa (langjährige mittlere jährliche Verdunstung in mm berechnet nach der FAO-Gras-Referenzverdunstung, im Folgenden auch als potenzielle Kühlungsleistung der Böden bezeichnet). Berechnet mit regionalen Klimadaten des DWD für die Klimareferenzperiode (1961-1990) nach DVWK (1996) und dem TUB_BGR-Verfahren (Ad-hoc-AG Boden 2003).
- LK (Luftkapazität in Vol- % des Gesamtbodens bezogen auf 1 m Tiefe). Berechnet nach Ad-hoc-AG Boden 2005 + Erweiterungen aus dem REFINA-Vorhaben (z.B. David & Schneider 2008).
- kf_{\min} (Horizontwert mit dem jeweils geringsten kf -Wert in cm d^{-1} innerhalb eines Bodenprofils). Berechnet nach Ad-hoc-AG Boden 2005.
- Fe_t -Massen (königswasserlösliche Eisen-Massen, als Totalgehalte interpretiert) in kg pro m^3 . Die Fe_t -Massen sind horizontweise berechnet aus Labordaten und den Trockenraumdichten und dann aufsummiert.

Nachfolgend werden die aus der Stadtbodendatenbank ermittelten Kenndaten für die neuen Bodenraumeinheiten illustriert. Zur Ableitung der Bodenkennwerte werden i. d. R. die Mediane verwendet. Vereinzelt werden auch gutachterlich angenommene Werte eingesetzt. Eine Extremwert- und Ausreißerbereinigung ist nicht durchgeführt worden, da die Profilhöhe in einigen der neuen Bodeneinheiten noch gering ist und extreme Wertabweichungen nach unten und oben für einige der Bodeneinheiten auch als typisch anzusehen sind. So können z.B. sowohl Böden aus Gichtgasschlämmen mit extrem hohen pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazitäten als auch reine Schlackenprofile mit kaum vorhandener Wasserspeicherkapazität für Pflanzen auf Flächen der Eisenhüttenindustrie, räumlich benachbart, vorliegen.

- Bedingt durch die noch geringe Profilhöhe einiger Bodeneinheiten werden sich die ermittelten Medianwerte bei zunehmender Zahl einbezogener Bodenprofile sicher noch etwas verschieben.

Im Datensatz der Stadtbodendatenbank liegen insgesamt 12 grundwasserbeeinflusste Böden vor (4 mal Grundwasserstufe 1 bis 3, 8 mal Grundwasserstufe 4 bis 5, nach Ad-hoc-AG Boden 2005). Da-

raus lässt sich eine zusätzliche Wasserversorgung der Pflanzen zwischen 15 bis 124 mm pro Jahr durch Kapillaraufstieg für diese Böden annehmen (Müller 2004), wenn es sich um naturnahe Böden handeln würde. Untersuchungen von Jeschke et al. (2008) lassen jedoch annehmen, dass in den oft schichtig aufgebauten jungen urban-industriellen Böden der Kapillaraufstieg durch die Porensprünge unterbunden oder stark gemindert ist.

Bei den Kennwerten der nFKWe, der Sickerwasserraten und der ETa ist die zusätzliche Wasserversorgung durch Kapillaraufstieg daher nur eingerechnet worden, wenn naturnahe oder keine schichtigen Böden vorlagen. Hierzu besteht noch Forschungsbedarf.

nFKWe (nutzbare Feldkapazität des Feinbodens in mm innerhalb der effektiven Durchwurzelungstiefe)

Die Abbildung 4.1.1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität aller Böden aus der Stadtbodendatenbank. Fast die Hälfte der Böden weist eine sehr geringe oder geringe pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität auf. Die Ursachen für die geringen nFKWe liegen in dem Untersuchungsraum primär in den oft hohen Grobboden- und Mittelsandanteilen der urban-industriellen Böden und in der weitverbreiteten Bodenverdichtung. Hinzu kommen der schichtige Aufbau (Porensprünge) und der durch die Geländeerhöhungen oft gekappte Grundwasseranschluss. Vor der Industrialisierung waren rund 40 % der Fläche des Einzugsgebietes der Emscher der Landschaftseinheit der Aue zuzuordnen. Heute sind diese Gebiete großflächig und oft mächtig aufgeschüttet und besiedelt (Höke et al. 2012).

Bei den Böden mit den sehr hohen und extrem hohen nFKWe-Werten in Abbildung 4.1.1 handelt es sich um schluffige Böden von Friedhöfen und aus Kleingärten, um feinsandige mächtige Eschböden und um Böden aus Schlammablagerungen oder mit höheren eingemischten Schlammanteilen. Sehr geringe nFKWe zeigen Schlackeböden und andere skelettreiche Böden.

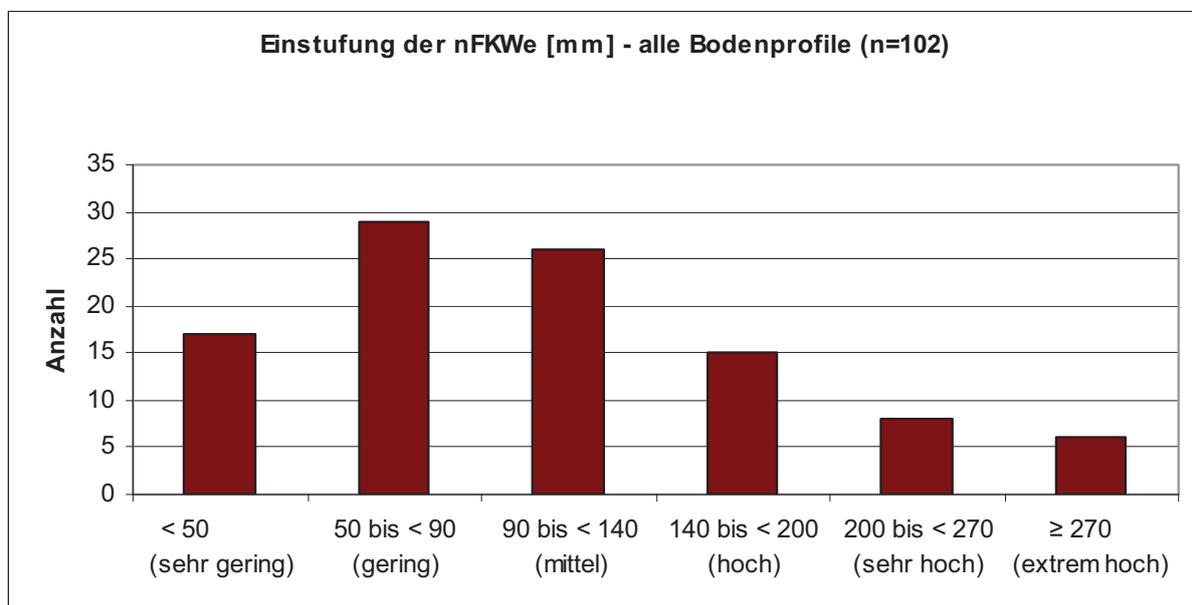


Abb. 4.1.1: Häufigkeitsverteilung der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität alle Böden

Die pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität der Böden bestimmt nicht nur die Wasserversorgung der Vegetation während trockener Witterungsphasen, sondern ist auch eine zentrale Steuerungsgröße der Sickerwasserbildung und der Verdunstungsleistung (= potenzielle Kühlleistung).

Da hohe Flächenanteile im Untersuchungsraum versiegelt sind, müssen die verbleibenden Böden zusätzliches Niederschlagswasser von den versiegelten Böden mit aufnehmen, sofern es nicht technisch in die Kanalisation abgeleitet wird. Je geringer die pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität der Böden, desto mehr Wasser gelangt in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer. Das heißt, dass ein Boden mit einer geringen nFKWe aus z.B. Schlacken, Sanden oder Kiesen oft eine gute Grundwasserdurchlässigkeit aufweist.

Da weitverbreitet schadstoffbelastete Böden und Grundwasserpolder vorliegen, ist eine möglichst hohe pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität der verbleibenden nicht versiegelten Bodenbereiche eine der wichtigsten Steuerungsgrößen für eine nachhaltigere Wasserwirtschaft im Emscherraum.

Die Abbildung 4.1.2 zeigt die pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität [mm] in Abhängigkeit der Flächennutzung (Mediane). Die Nutzungsgeschichte nimmt deutlichen Einfluss auf die heute im Mittel auf den Flächen vorliegenden pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazitäten.

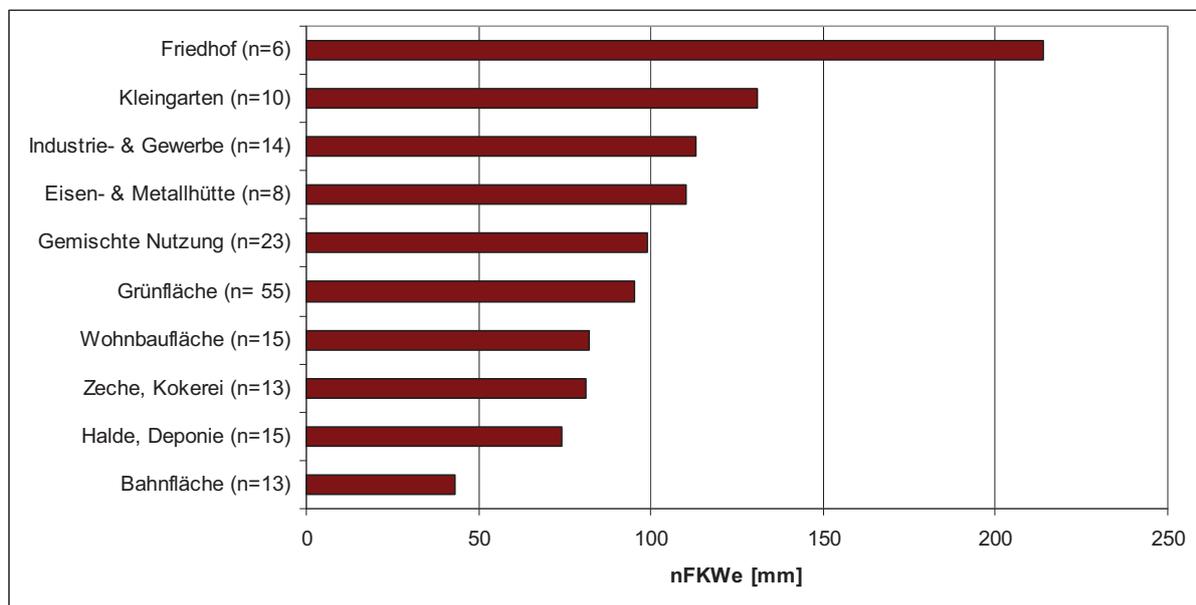


Abb. 4.1.2: Pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität [mm] in Abhängigkeit von der Flächennutzung (Mediane gesamt)

Flächennutzungen mit Böden, die trotz oder aufgrund ihrer anthropogenen Nutzung hohe nutzbare Wasserspeicherkapazitäten aufweisen, sollten auch im Zuge der ‚Doppelten Innenentwicklung‘ von Bebauung freigehalten werden (z.B. Kleingärten und Friedhöfe). Ihre hohen Ökosystemdienstleistungen im städtischen Wasserhaushalt sind dringend erforderlich. Es sei darauf hingewiesen, dass der Median der ‚Friedhöfe‘ bei einer höheren Anzahl von Profilen in der Datenbank sehr wahrscheinlich etwas sinkt. In dieser Flächennutzungsgruppe liegen überproportional Profile aus schluffgeprägten Bodenräumen vor. Die Abbildung 4.1.3 zeigt die nFKWe für einige der Flächennutzungsgruppen, differenziert in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenräume. Wie erwartet zeigen sich in den schluff-/lehmgeprägten Bodenräumen höhere mittlere nFKWe-Werte.

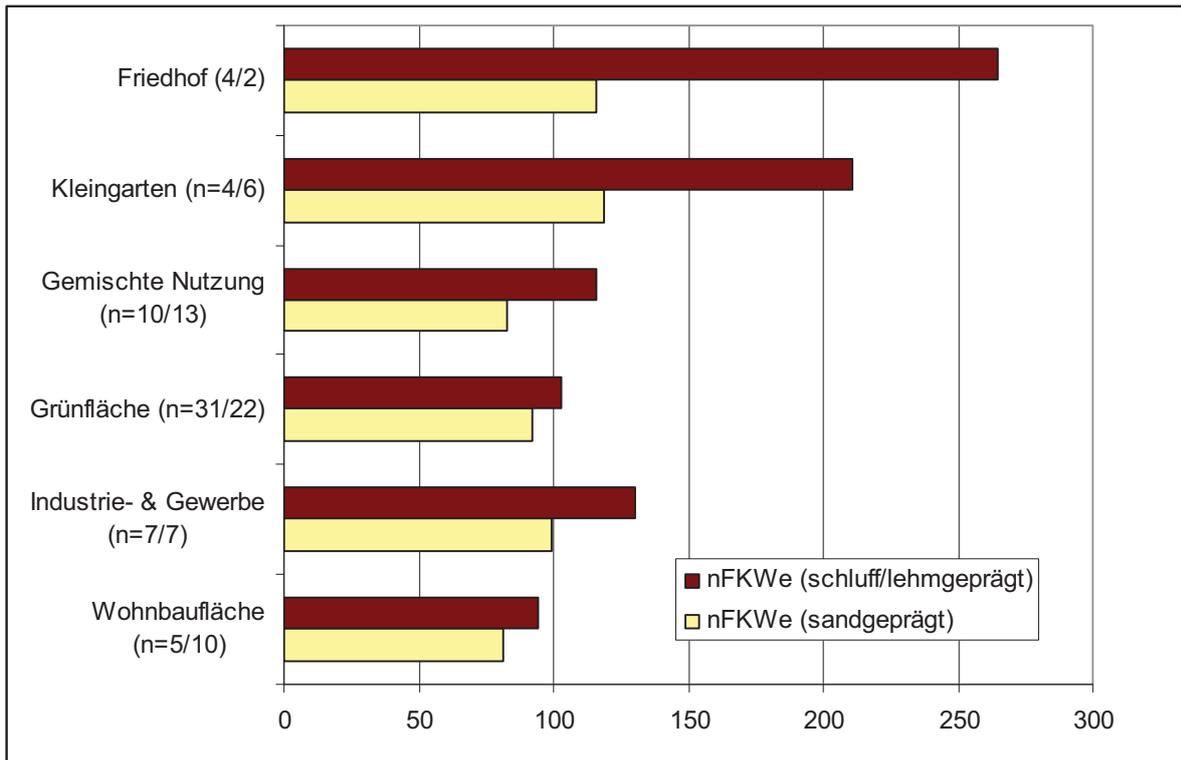


Abb. 4.1.3: nFKWe [mm] in Abhängigkeit von der Flächennutzung (Sand und Schluff/Lehm differenziert)

Das bestätigt den gewählten Ansatz, das auftretende natürliche Bodenmaterial als eines der Ausgangssubstrate für die ‚neuen Bodenausgangssubstrate‘ mit in die Bewertung der neuen Bodeneinheiten einfließen zu lassen. Für die in Abbildung 4.1.3 nicht dargestellten Flächennutzungen ‚Eisen- und Metallhütten‘, ‚Zechen, Kokerei‘, ‚Halde, Deponie‘ und ‚Bahnflächen‘ zeigte sich aufgrund hoher Aufschüttungsmächtigkeiten und/oder technischer Bauvorgaben eine so starke Überprägung des natürlichen Bodensubstrats, dass sich die frühere Bodeneigenschaft Sand oder Schluff/Lehm nicht mehr relevant auf die Bodenkennwerte auswirkt. Daher werden diese neuen Bodenraumeinheiten zunächst nicht weiter in sand- oder schluff-/lehmgeprägt differenziert.

SWRj_TUB (langjährige mittlere jährliche Sickerwasserrate in mm)

Die Abbildung 4.1.4 zeigt die Häufigkeitsverteilung der langjährigen mittleren Sickerwasserraten aller Böden aus der Stadtbodendatenbank. Rund 60 % der Böden weisen eine ‚hohe‘ bis ‚extrem hohe‘ langjährige mittlere Sickerwasserrate auf. Dies ist wesentlich bedingt durch die geringen pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazitäten, da sich die klimatischen Bedingungen im Betrachtungsraum nicht stark unterscheiden und nur noch selten Böden mit zu berücksichtigendem Grundwassereinfluss vorliegen. Für einige Substrate sind mit den gegebenen klimatischen Eingangsparametern, ‚sehr geringe‘ Sickerwasserraten innerhalb des TUB-BGR-Modells nicht darstellbar. Daher ist diese Klasse nicht besetzt, die betreffenden Böden sind in der Klasse ‚gering‘ enthalten.

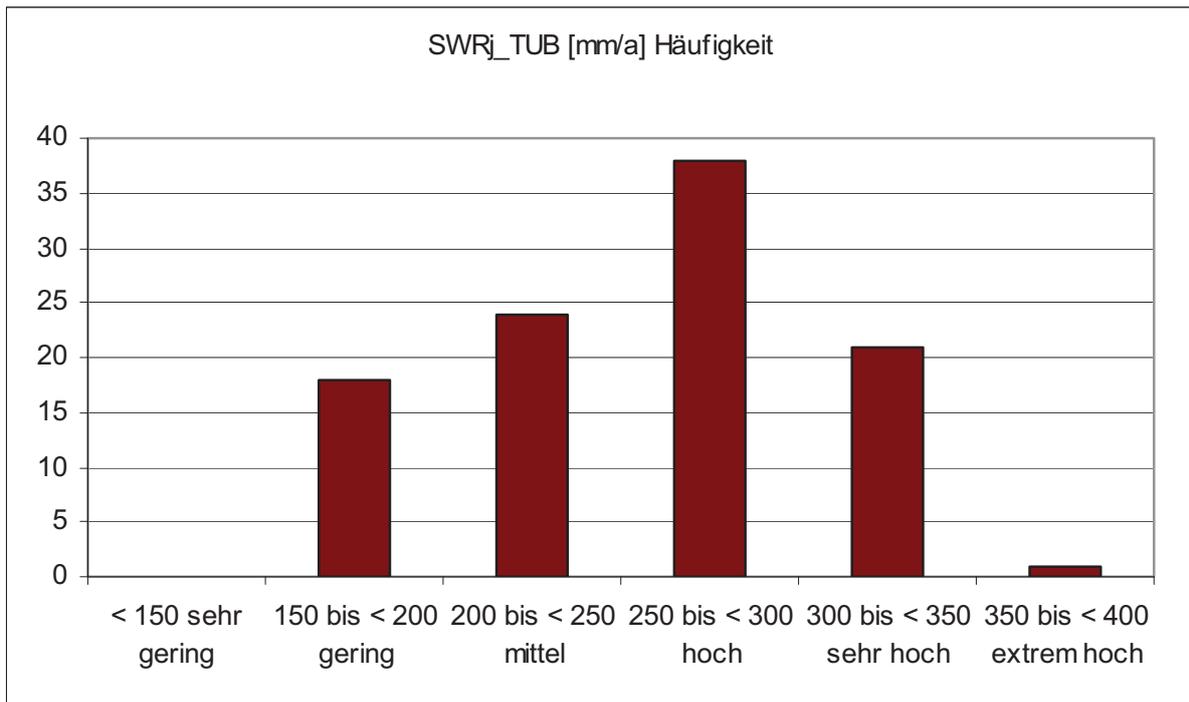


Abb. 4.1.4: Häufigkeitsverteilung der langjährigen mittleren jährlichen Sickerwasserraten alle Böden

Die Böden mit den geringen Sickerwasserraten entsprechen in etwa den Böden mit einer hohen und extremen nFKWe (s.o.). Die extrem hohe Sickerwasserrate zeigt ein Schlackenrohboden und die sehr hohe Sickerwasserraten sind vor allem in Böden mit hohen Anteilen an Gleisschottern sowie diverser Zusammensetzungen an Bauschutt, Bergematerial oder auch Müll (Reduktosol) zu finden. Daher sind in Abhängigkeit der gruppierten Flächennutzung die höchsten langjährigen Sickerwasserraten auf den Bahnflächen und die geringsten auf Friedhöfen und in Kleingartenanlagen zu finden, genau umgekehrt zu den pflanzenverfügbaren Wasserspeichervolumen der Böden (vgl. Abb. 4.1.5).

Die Abbildung 4.1.6 zeigt die SWR_j in Abhängigkeit der Flächennutzung differenziert in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenräume. Auch hier zeigen sich wie erwartet in den schluff-/lehmgeprägten Bodenräumen geringere mittlere Sickerwasserraten als in den sandgeprägten (vgl. hierzu auch Aussagen zu Abb. 4.1.3).

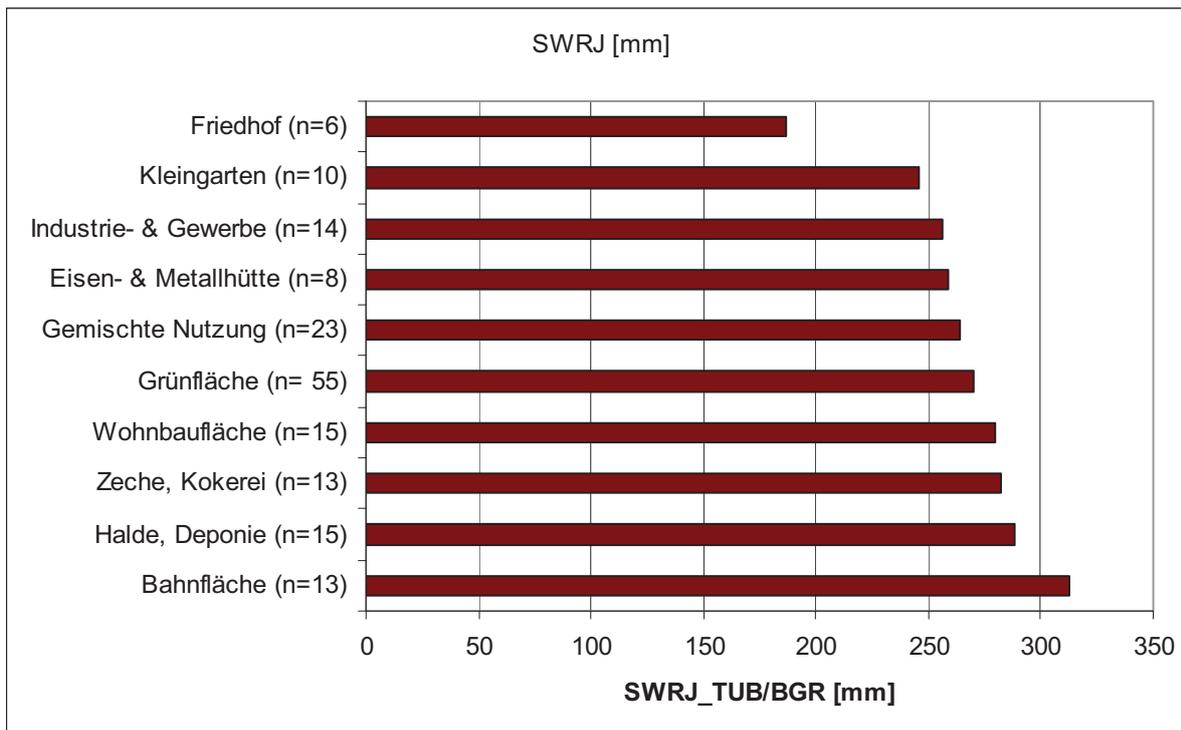


Abb. 4.1.5: Langjährige mittlere jährliche Sickerwasserraten (TUB_BGR) (Mediane gesamt)

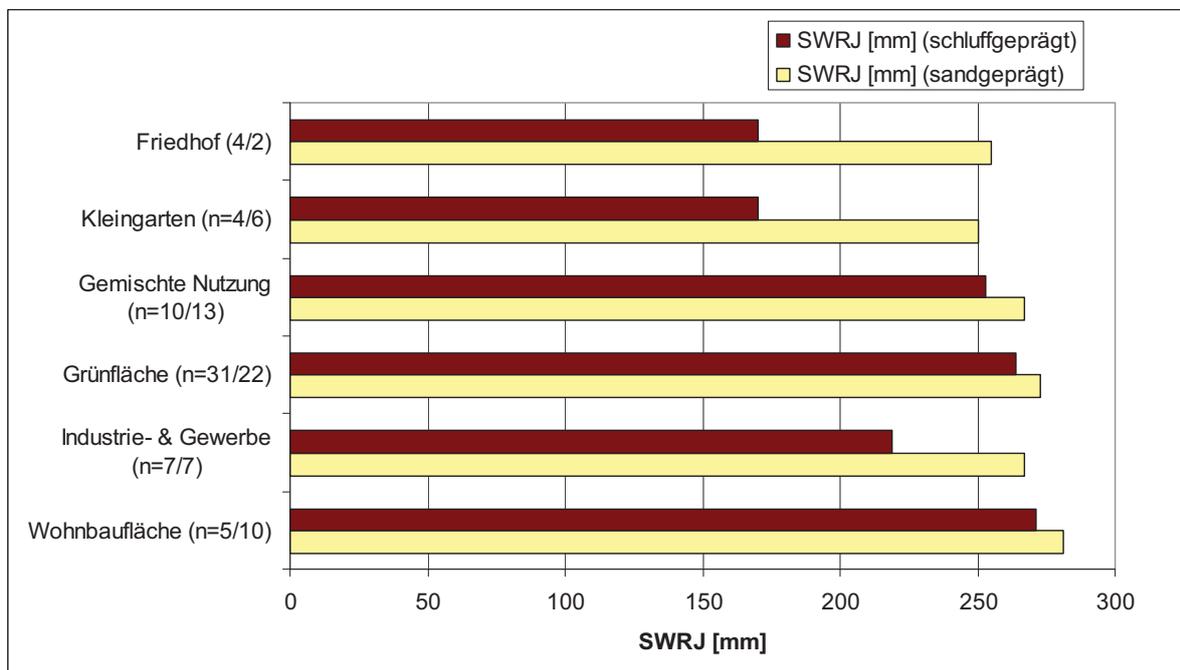


Abb. 4.1.6: Mittlere jährliche Sickerwasserraten (TUB_BGR) (Sand und Schluff/Lehm differenziert)

Potenzielle Bodenkühlleistung

(E_{Ta} = langjährige mittlere jährliche Verdunstung in mm, FAO-Gras-Referenzverdunstung)

Die Abbildung 4.1.7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der potenziellen Bodenkühlleistung aller Stadtböden der Datenbank. Mehr als 50 % der Böden zeigen sehr geringe bis geringe potenzielle Bodenkühlleistungen. Nachdem der Untersuchungsraum vor der Industrialisierung von großen Flächenanteilen mit feuchten Bodenstandortbedingungen durch hohes Grundwasser geprägt war (z.B. nahmen Auen allein 40 % der Fläche des Emschereinzugsgebietes ein) weisen heute nur noch 20 % aller Böden eine hohe oder sehr hohe potenzielle Bodenkühlleistung auf (vgl. Höke et al. 2012). Bei den Böden in der Abbildung 4.1.7 mit den hohen und sehr hohen potenziellen Verdunstungsleistungen handelt es sich um schluffige Böden von Friedhöfen und aus Kleingärten, um feinsandige mächtige Eschböden und um Böden aus Schlammablagerungen oder mit eingemischten Schlammanteilen. Sehr geringe potenzielle Bodenkühlleistungen zeigen Sysroseme und Regosole aus Schlacke und andere skelettreiche Böden.

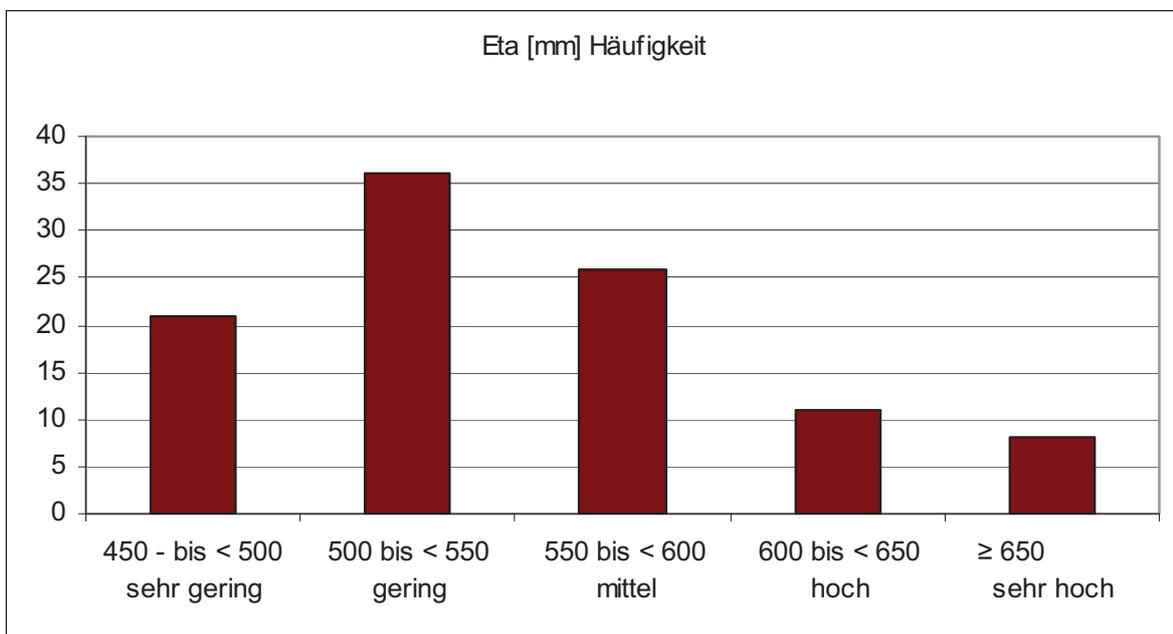


Abb. 4.1.7: Häufigkeitsverteilung der potenziellen Bodenkühlleistungen aller Stadtböden (n=102)

Die Abbildung 4.1.8 zeigt die potenzielle Bodenkühlleistung in Abhängigkeit von der Flächennutzung. Da auch bei der potenziellen Bodenkühlleistung die nFKWe die wichtigste steuernde Einflussgröße ist (neben einer möglichen Grundwasseranbindung), ergibt sich auch hier wieder für einige Flächennutzungen ein deutlicher Einfluss der sand- und schluff-/lehmgeprägten Bodenlandschaften (nicht dargestellt).

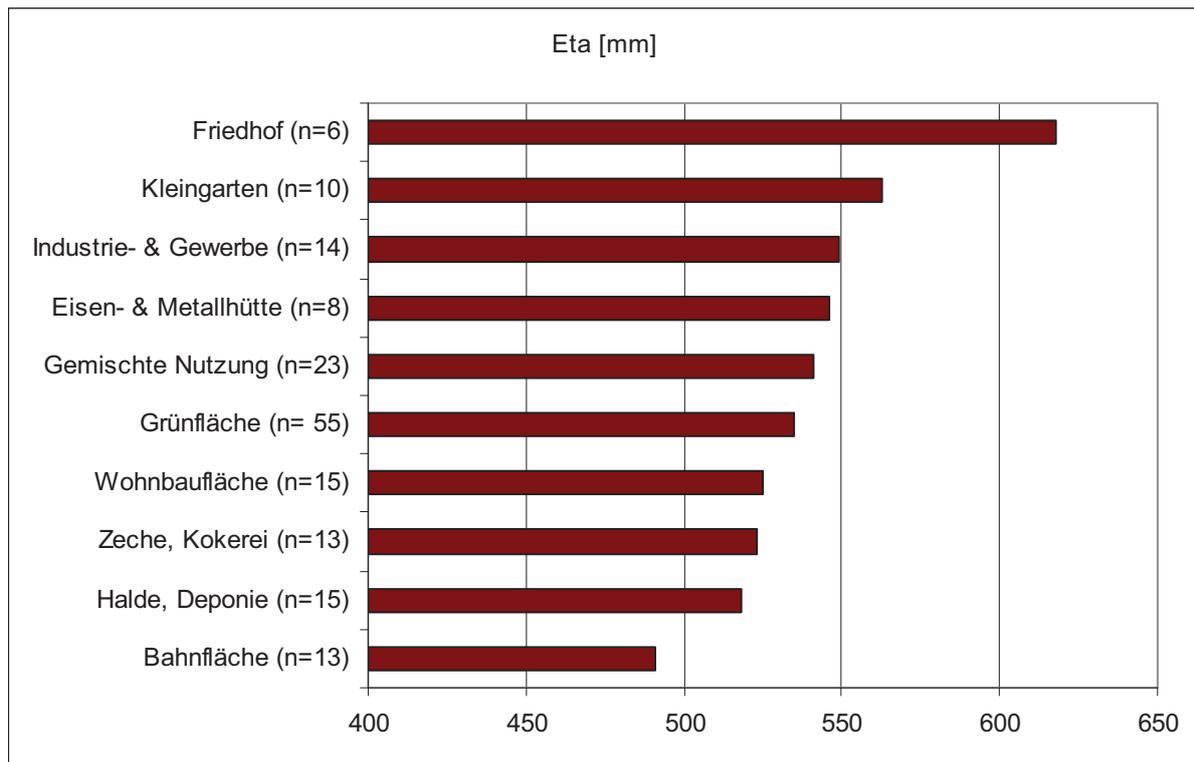


Abb. 4.1.8: Potenzielle Bodenkühlleistung [Eta mm] in Abhängigkeit der Flächennutzung (Mediane gesamt)

Luftkapazität (LK) in Vol- % des Gesamtbodens bezogen auf 1 m Tiefe

Unter der Luftkapazität (LK) wird der Porenraum $> 50 \mu\text{m}$ Äquivalentdurchmesser verstanden, der bei Feldkapazität ($pF < 1,8$) mit Luft erfüllt ist. Die LK gibt Hinweise darauf, wie gut die Pflanzenwurzeln mit Sauerstoff versorgt sind. Der Anteil dieser sog. weiten Grobporen ist gleichzeitig ein Maß für die Aufnahmekapazität von Niederschlags-, Grund- oder Stauwasser und bestimmt die Amplitude und Geschwindigkeit von Wasserstandsänderungen (Ad-hoc-AG Boden 2005). Die LK geht maßgeblich in die Beurteilungen der Eignung der Böden für die Niederschlagsversickerung ein. Die tatsächliche Zwischenspeicherkapazität für Niederschläge liegt im Regelfall aber über der LK, da oft auch Speichervolumen des Porenraumes der Feldkapazität (FK) mit zur Verfügung steht. Da jedoch vor allem im Winterhalbjahr mit einer Vorsättigung zu rechnen ist, wird der Porenraum der FK bei der Bewertung der Böden hinsichtlich ihrer Eignung, Niederschlagswasser zu versickern, nicht berücksichtigt (Walter et al. 1999).

Die Ansätze zur Abschätzung der LK aus Tabellenwerten wie für die naturnahen Böden (bei bekannten Korngrößenzusammensetzungen, Humusgehalten und Trockenraumdichten) sind für die urban/industriellen Böden noch nicht zufriedenstellend. So erfolgt noch keine gesicherte/abgeleitete Berücksichtigung des oft vorhandenen Porenraumes zwischen nicht mit Feinboden gefüllten Skelett-agglomerationen, der Grobporen innerhalb der Skelette und auch nicht der z. T. extrem geringen Trockenraumdichten von Schlämmen. Diese Einflussgrößen würden sich bei Berücksichtigung erhöhend auf die Luftkapazitäten auswirken.

Die Abbildung 4.1.9 zeigt die Häufigkeitsverteilung der berechneten LK der Böden bezogen auf 1 m Bodentiefe. Es liegt ein eindeutiges Maximum im mittleren Luftkapazitätsbereich vor. Rund 70 % aller Böden zeigen mittlere bis sehr hohe Luftkapazitäten und sind damit von ihrer Luftkapazität her betrachtet zur Regenwasserversickerung geeignet, sofern sie nicht oberflächennah stauende Schichten oder Horizonte aufweisen.

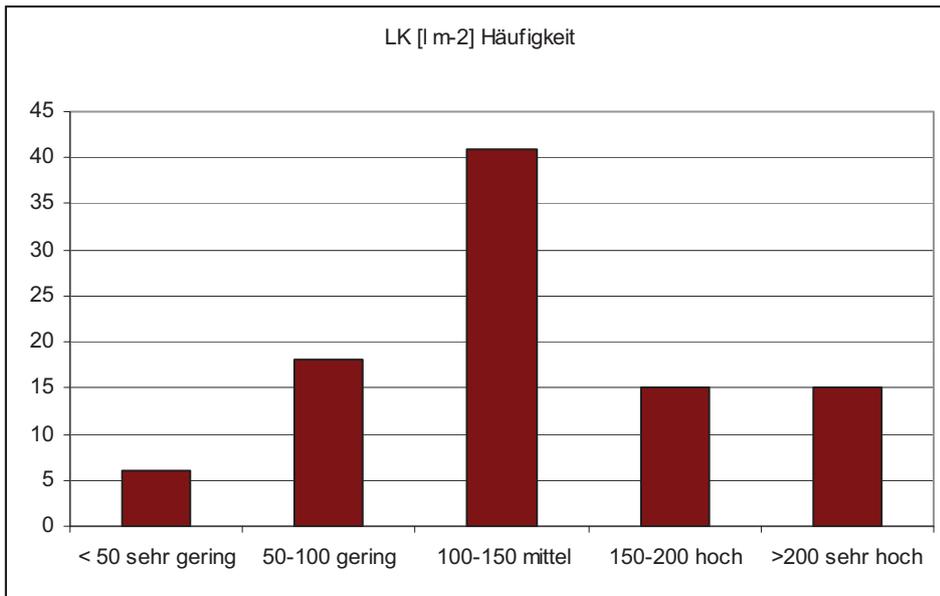


Abb. 4.1.9: Häufigkeitsdiagramm der Luftkapazitäten alle Böden

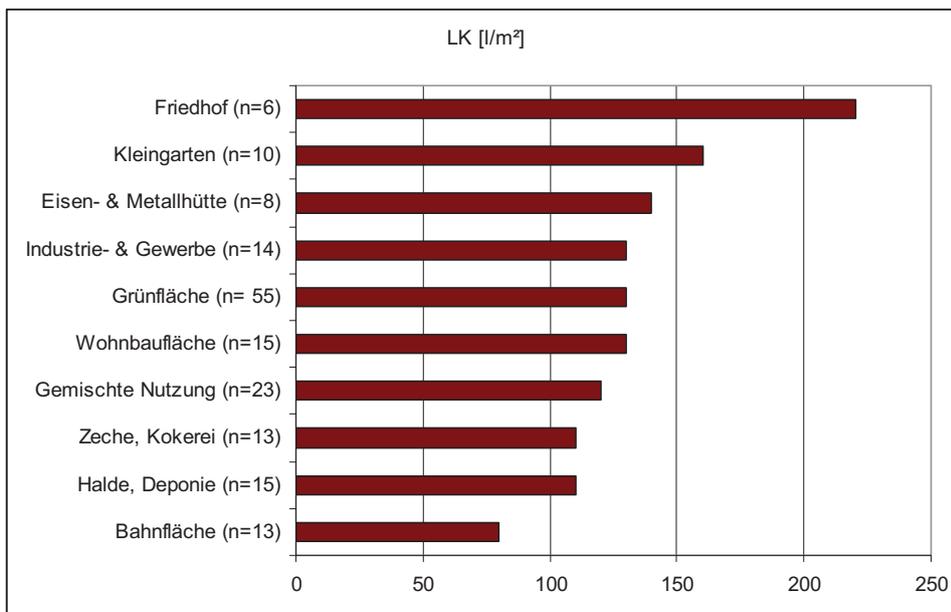


Abb. 4.1.10: Luftkapazitäten in Abhängigkeit der Flächennutzung (Mediane gesamt)

Die Abbildung 4.1.10 zeigt die Luftkapazitäten in Abhängigkeit der Flächennutzung. Der geringe Median für die Böden auf den Bahnflächen verdeutlicht, dass für solche Böden eine Bewertung allein aus der LK zur Eignung für die Regenwasserversickerung aber nicht ausreicht. Normalerweise versickert Niederschlagswasser schnell auf den Bahnflächen. Im Datensatz liegen zwar überwiegend Profile ehemaliger Bahnanlagen vor, deren Porenraum zwischen dem Bahnschotter mit Feinboden gefüllt ist, sichtbare Pfützenbildung (Wasserüberstau) nach starken Regenfällen ist auf solchen Flächen i.d.R. aber trotzdem nicht zu beobachten. Es erfolgt eine schnelle Ableitung des Niederschlagswassers durch Zwischenabfluss auf dem verdichteten und in der Regel leicht geneigt gebauten Unterbau.

Auch die Luftkapazität der neuen Bodeneinheiten wird differenziert in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenräume (nicht abgebildet).

kf_{min}-(Horizont mit geringstem kf-Wert in cm d⁻¹ innerhalb eines Bodenprofils)

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) gibt Hinweise auf das Infiltrationspotenzial von Böden. Der Begriff Infiltration beschreibt das vertikale Eindringen des Wassers (Niederschlag, Bewässerung, Oberflächenabfluss) über die Bodenoberfläche in den Boden (Wolff 1996). Der kf-Wert ist ein Maß für die Geschwindigkeit der Wasserbewegung (Durchlässigkeit) in einem mit Wasser gesättigten Boden. Die Wasserleitfähigkeit erreicht im wassergesättigten Porenraum ihr Maximum. Daher ist der kf-Wert in Labor- und Feldversuchen relativ sicher bestimmbar.

Das Wissen über die Wasserdurchlässigkeit urban-industrieller Böden ist immer noch gering. Insgesamt lässt sich aussagen, dass viele Böden hohe und sehr hohe Infiltrationsleistungen aufweisen, diese aber aufgrund der vorliegenden Bodenmerkmale noch nicht eindeutig abgeschätzt werden können (Wolff 1993). Wolff kommt zu dem Schluss, dass neben den Bodenarten das Sekundärporensystem (Pedogenese, einschließlich Lebendverbauung und Bioturbation), die organische Substanz, das Gefüge und die Trockenrohdichten mit berücksichtigt werden müssen.

Die Ableitung der kf-Werte kann für die urbanen Böden daher nicht automatisiert erfolgen und erfordert eine gutachterliche Plausibilitätsüberprüfung.

Für Profile, die keine bei der Kartierung angesprochenen wasserstauenden Horizonte (Sd-Horizonte) oder höhere Skelettanteile beinhalten, erfolgt die Beurteilung der gesättigten Wasserleitfähigkeit analog zu den naturnahen Böden. Wenn Sd-Horizonte im Gelände kartiert wurden, wird für das gesamte Profil die Stufe 4 (kf < 10 cm d⁻¹) eingesetzt, auch wenn sich rein rechnerisch hier ein höherer kf-Wert ergäbe (vgl. Höke et al. 2009). Im Fall relevanter Skelettanteile muss gutachterlich beurteilt werden, ob hierdurch bedingt hohe Wasserleitfähigkeiten auftreten oder aber, ob das Skelett z.B. eingeregelt ist oder eng eingebettet im Feinboden vorliegt oder sogar miteinander oder mit dem Feinboden stark verkittet ist und dann verringerte Wasserleitfähigkeiten anzusetzen sind.

Auch die Bewertungsmöglichkeiten des seitlichen Abflusses von räumlich begrenzten stauenden Schichten sollten zukünftig noch näher beleuchtet werden, ebenso wie die Auswirkungen der Porensprünge und deutliche Dichtewechsel an Schichtgrenzen.

Der Horizont oder die Schicht innerhalb eines Profils mit der geringsten kf-Wert-Stufe bestimmt die Einstufung. Die Abbildung 4.1.11 zeigt die Häufigkeitsverteilung der kf-Werte mit einer Einstufung nach Ad-hoc-AG Boden 2005). Böden mit Horizonten/Schichten mit geringen Wasserleitfähigkeiten liegen in rund 20 % der Profile vor und rund 40 % zeigen mittlere Wasserleitfähigkeiten.

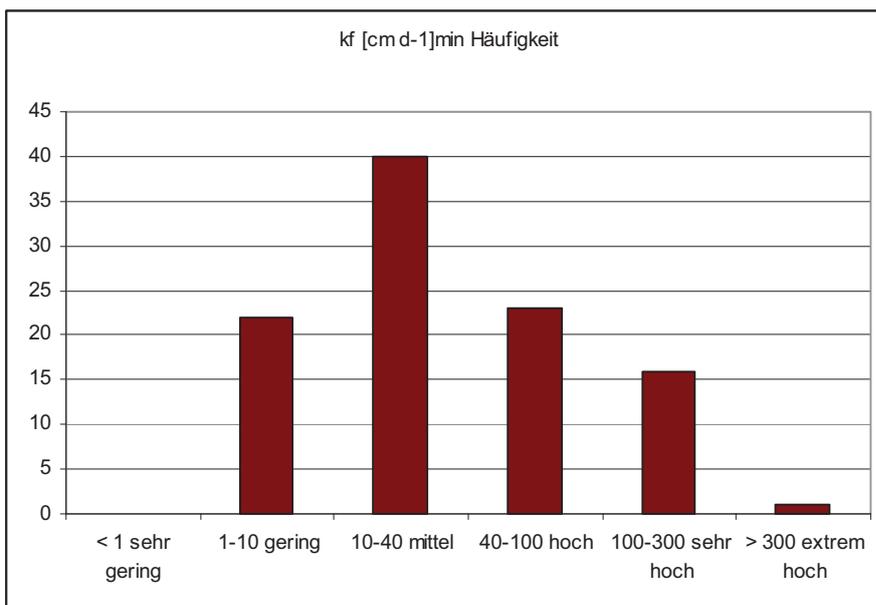


Abb. 4.1.11: Häufigkeitsdiagramm der gesättigten Wasserleitfähigkeiten [cm d⁻¹]

Die Abbildung 4.1.12 zeigt die jeweils geringsten kf-Werte der Profile in Abhängigkeit der Flächennutzung und sand- oder schluff-/lehmgeprägten Bodenregionen. Es zeigen sich gravierende Unterschiede in den Medianen, je nachdem ob die Bodenraumeinheiten sand- oder schluff-/lehmgeprägt sind. Das ist zum einen bodenartenbedingt, zum anderen aber auch stark darauf zurückzuführen, dass die verdichtungsempfindlichen Schluffe und Lehme nach wie vor nicht gegen zu schwere Auflasten bei nassen Witterungsbedingungen (z.B. durch Befahren) geschützt werden.

In einigen schluffigen und lehmigen Böden liegen aber auch sog. Bt-Horizonte oder Reste davon vor. Das sind Bodenhorizonte, in die hinein durch natürliche Prozesse bedingt Tonteilchen aus darüber liegenden Bodenbereichen eingelagert wurden und die dadurch eine höhere Trockenraumdicke aufweisen (vgl. Entstehung von Parabraunerdeböden, pedogener Prozess der Lessivierung). Oft wirken diese Horizonte dann wasserstauend und es kommt zur Ausbildung von Pseudogleyen.

Auffällig ist, dass sich die Mediane der schluff-/lehmgeprägten Bodenraumeinheiten hinsichtlich der minimalen kf-Werte kaum unterscheiden, wohingegen die sandgeprägten Bodenraumeinheiten deutliche Unterschiede zeigen.

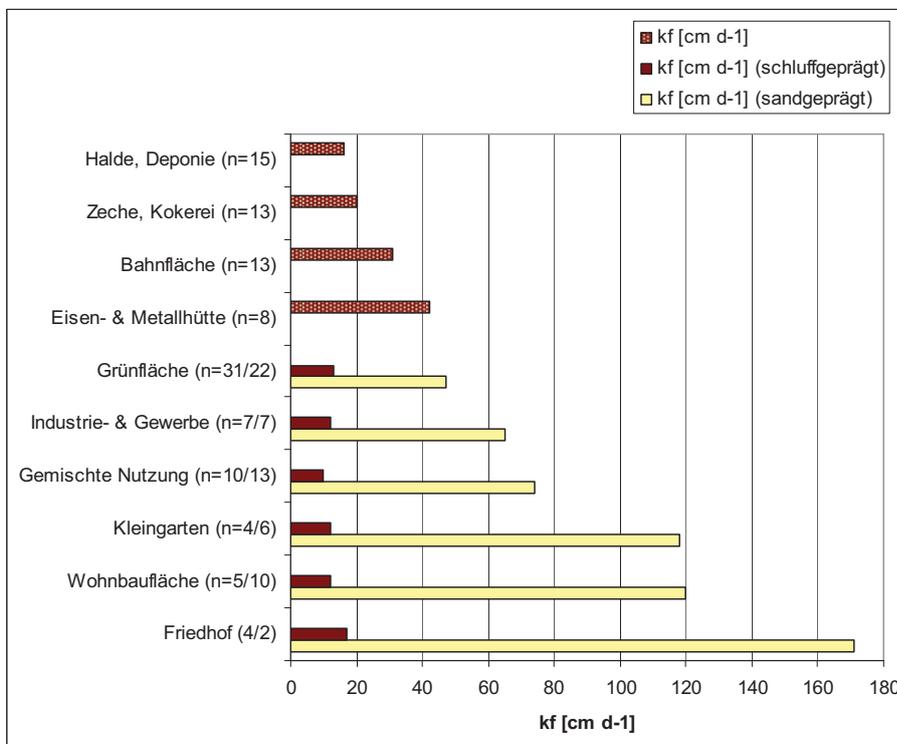


Abb. 4.1.12: Geringster kf-Wert im Bodenprofil in Abhängigkeit der Flächennutzung (Mediane gesamt)

Fe_t-Massen (königswasserlösliche Eisen-Massen) in kg pro m³

Von den 102 Profilen der Stadtbodendatenbank liegen für 68 Profile königswasserlösliche Fe_t-Gehalte aller Horizonte vor. Die Abbildung 4.1.13 zeigt die klassifizierten Fe_t-Massen in den Profilen.

Die Fe_t-Gehalte natürlicher Böden liegen häufig zwischen 2 bis 50 g kg⁻¹ (Scheffer & Schachtschabel 2002). Im Mittel der Daten aus der Fachinformation Stoffliche Bodenbelastung (FIS StoBo) betragen die Fe_t-Gehalte im Untersuchungsraum in den naturnahen Böden unter Acker, Grünland und Wald rund 22 g kg⁻¹ (max. 135 g kg⁻¹) und das 90. Perzentil 32 g kg⁻¹. Unter dem Ansatz von 1,5 g cm⁻³ Trockenraummasse errechnen sich daraus zwischen 3 kg und 75 kg Fe pro m³ bzw. 33 kg Fe pro m³ unter Zugrundlegung des Mittelwertes der FIS StoBo-Daten.

Der Maximalwert der FIS StoBo-Daten stammt vermutlich aus einem raseneisenerzhaltigen Go-Horizont. Solche Horizonte waren früher häufiger in der Emscher- und auch Boyeniederung. Sie wur-

den weitgehend abgebaut und deckten den Eisenerzbedarf der ersten Eisenhütten des Ruhrgebietes in Oberhausen. Die darüberliegenden Bodenhorizonte wurden dazu komplett abgegraben und anschließend wieder aufgeschüttet!

Fe_t -Mengen $> 60 \text{ kg pro m}^3$ treten in 14 von den 68 Profilen auf. Im vorliegenden Datensatz sind das alle Böden von den Bahnflächen, Hortisole, die sehr starke Staubeinträge durch die Eisenhüttenindustrie erfahren haben, der Boden einer Gichtgasschlammdeponie sowie ein sehr eisenreicher Schlamm unbekannter Herkunft auf einer Deponie (heute ein städtischer Park) sowie eines der Bergehaldenprofile.

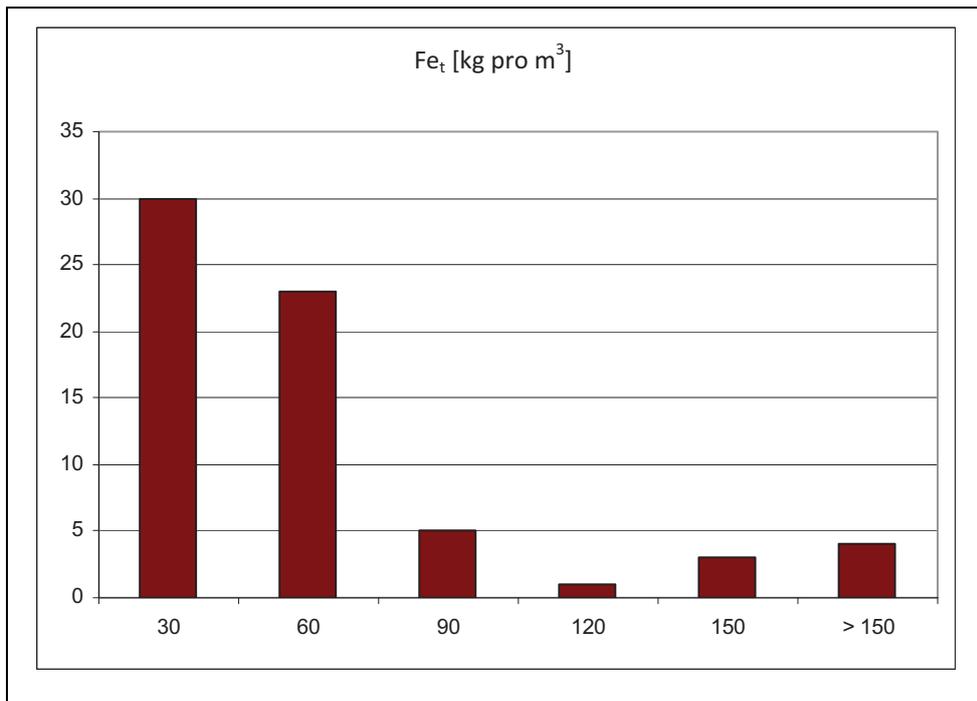


Abb. 4.1.13: Häufigkeitsverteilung der Fe_t -Mengen [kg m^{-3}] in den Bodenprofilen

Die Abbildung 4.1.14 zeigt die Mediane der Fe_t -Mengen in den Böden in Abhängigkeit der Flächennutzung. Hier werden die extremen Eisengehalte auf den Bahnflächen sehr deutlich. Das Eisen wird hier zu deutlichen Anteilen aus dem Gleisabrieb stammen. Fe-Anreicherungen finden sich aber auch in den Böden der Kleingärten und der Eisen- und Metallhüttenindustrie.

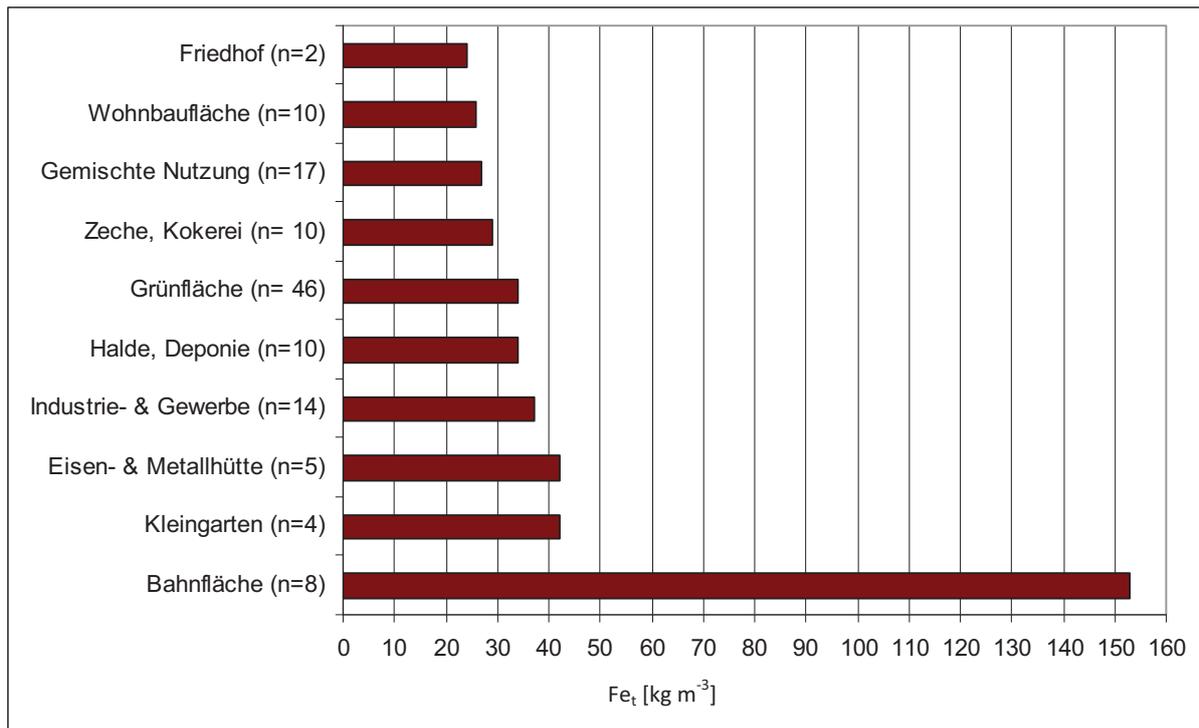


Abb. 4.1.14: Fe_t-Mengen in kg pro m³ in Abhängigkeit der Flächennutzung (Mediane gesamt)

Auch die Gehalte der neuen Bodeneinheiten werden zunächst differenziert in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenräume (nicht abgebildet). Die Daten zeigen keine Signifikanz für verstärkte Fe-Anreicherungen in sand- oder schluff-/lehmgeprägten Böden.

4.2 Charakterisierung der neuen Bodenraumeinheiten

Im Folgenden werden die neuen Bodenraumeinheiten hinsichtlich der hier betrachteten bodenkundlichen Kennwerte und Eigenschaften kurz beschrieben.

4.2.1 Wohnbauflächen, Baufläche für Sport, Erholung und öffentliche Zwecke inklusive Sportanlagen



Abb 4.2.1: Regosol aus Schlacken und Aschen über einem fossilen Plaggenesch im Randbereich eines Fußballplatzes (Bottrop) (Foto: ahu AG (Bönsch & Schomers))

Es liegen 15 Bodenprofile aus diesen neuen Bodenraumeinheiten vor:

- Rund 2/3 der Böden weisen Mischsubstrate zwischen natürlichem und technogenem Material auf (vgl. Abb. 4.1). Das technogene Material besteht zu hohen Anteilen aus Bauschutt, aber auch Schlacken, Aschen und Bergematerial treten häufiger auf. Vereinzelt finden sich Müll und Schlämme.
- Etwa 1/3 der Böden sind (untersuchungsgebietsabhängig) Esche oder Esch-Gleye und somit anthropogen ebenfalls überprägt. Ein schluffiger Boden aus einem Wohngebiet in Oberhausen ist mit schluffigem Bodenmaterial aufgeschüttet, welches bereits eine erneute Bodenbildung erkennen lässt. Da das beim Bau anfallende Aushubmaterial früher in der Regel benachbart wieder abgelagert wurde, treten in Wohngebieten häufiger unter natürlichem Bodenmaterial oder Mischungen begrabene naturnahe Böden auf.
- 2/3 der Böden liegen im sandgeprägten und 1/3 im schluff- und lehmgeprägten Bodenraum vor. In der Konzeptbodenkarte werden jeweils den sandgeprägten und den schluff-/lehmgeprägten Böden die Mediane dieser beiden Bodengruppen zugewiesen. Eine weitere Unterteilung auf dieser Maßstabsebene und mit der vorliegenden Fallzahl erfolgt nicht.
- Im Vergleich der unterschiedlichen neuen Bodenraumeinheiten liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.8) eher im unteren Bereich. Demzufolge sind die mittleren jährlichen

Sickerwasserraten im Vergleich der neuen Bodenraumeinheiten relativ hoch (vgl. Abb. 4.1.5). Die Luftkapazität (LK) liegt im Mittelfeld (vgl. Abb. 4.1.10).

- Die Unterschiede zwischen den berechneten bodenphysikalischen Bodeneigenschaften der nFKWe, SWR_j und ET_a sowie der LK sind zwischen den schluff-/lehm- und den sandgeprägten Bodenräumen auffällig gering (vgl. z.B. Abb. 4.1.3). Neben der vorhandenen Profilhöhe liegt das im vorliegenden Datensatz darin begründet, dass die schluffgeprägten Wohngebietsböden oft starke Bodenverdichtungen aufweisen und dadurch außer den direkten Wirkungen auf die Wasserspeicher- und Luftkapazität auch die effektive Durchwurzelungstiefe eingeschränkt ist. Die sandgeprägten Wohngebietsböden im Datensatz enthalten dagegen alle Feinsande. Feinsande weisen im Vergleich zu den Mittel- und Grobsanden eine relativ hohe Wasserspeicher- und Luftkapazität auf. Hinzu kommen die auch noch im Unterboden höheren Humusgehalte der Esche, die sich ebenfalls positiv auf die Wasserspeicherkapazität auswirken.
- Die geringsten **gesättigten Wasserleitfähigkeiten** (kf-Werte) zwischen den sandgeprägten und den schluff-/lehmgeprägten Böden unterscheiden sich erwartungsgemäß deutlich (vgl. Abb. 4.1.12). Die nicht verdichtungsempfindlichen sandgeprägten Wohngebietsböden enthalten als technogene Bestandteile zumeist Bauschutt, Schlacken und Aschen. Diese technologischen Komponenten führen von Ausnahmefällen abgesehen nicht zu einer Minderung der als hoch bis sehr hoch zu bewertenden Wasserleitfähigkeiten. Die verdichtungsempfindlichen Schluffböden weisen dagegen in den Wohngebieten oft schon durch den unsachgemäßen Umgang mit ihnen während des (ehemaligen) Baustellenbetriebs (Befahren oder zu schwere Auflasten bei nassen Bodenbedingungen) geringe bis mittlere Wasserleitfähigkeiten auf. Ein Einfluss auf die kf-Werte der schluffig/lehmigen Bodenregionen nehmen aber auch pedogene Tonverlagerungsprozesse (vgl. Beschreibung zu Abb. 4.1.12).
- Der Median der **Fe_t-Massen** in den Böden ist im Vergleich zu den anderen neuen Bodenraumeinheiten sehr gering (vgl. Abb. 4.1.14). Die Streuung mit 9 bis 36 kg Fe pro m³ ist ebenfalls klein. Profile mit hohen Fe_t-Gehalten lagen in den Wohngebieten bisher im Datensatz nicht vor (vgl. Abb. 4.1.13).

Wenn eine größere Anzahl von Profilen aus Wohnbauflächen vorliegt, sollte geprüft werden, ob noch Unterschiede bedingt durch das Alter oder die Art der Wohnbebauung berücksichtigt werden sollten. So fand Helmes (2004) in einer Stadtbodenkartierung für Saarbrücken, dass in allen Einheiten – offene Blockrandbebauung, Zeilenbebauung, Großformbebauung und Hochhäuser sowie öffentliche Gebäude – Auftragsböden mit technologischen Substraten auftraten, die zu erhöhten Skelettgehalten und Lagerungsdichten im Unterboden führen. Die Ausprägung der technologischen Horizonte ist aber abhängig von der Nutzungsgeschichte. Ältere Böden im Bereich massiver Kriegsschäden zeigen häufiger mächtige Bauschutt- oder verbrannte Eisengrushorizonte, wohingegen die technologischen Horizonte der jüngeren Böden bevorzugt aus Abfallprodukten des Bergbaus und der Stahlindustrie aufgebaut sind. Einzelhaus- oder Reihenhausbebauung und Gartenböden waren oft Zweischichtböden, wobei der fossile Ausgangsboden zumeist noch ergrabbar ist. In den Einzelhaus- und Reihensiedlungen sind die technologischen Beimengungen seltener. Zudem zeigen alle Profile in der Einheit Wohnbebauung Anzeichen ehemaliger gartenbaulicher Nutzung.

4.2.2 Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache



Abb. 4.2.2: Regosol aus einem Bauschutt-/Schluff-Gemisch (Dortmund) (Foto: ahu AG (Bönsch & Schomers))

Es liegen 55 Bodenprofile in diesen neuen Bodenraumeinheiten vor:

- davon enthalten 78 % Mischsubstrate und 15 % technogene Monosubstrate. Nur noch 4 Böden können als naturnah angesprochen werden (= 7 %) (vgl. Abb. 4.1). Es sind alle Arten von Mischungen natürlicher und technogener Substrate anzutreffen.
- Davon stammen 22 der Böden aus dem sandgeprägten und 31 aus dem schluff- und lehmgeprägten Bodenraum. In der Konzeptbodenkarte werden jeweils den sandgeprägten und den schluff-/lehmgeprägten Böden die Mediane dieser beiden Bodenraumeinheiten zugewiesen. Eine weitere Unterteilung auf dieser Maßstabsebene und mit der vorliegenden Fallzahl erfolgt nicht.
- Die Park- und Brachflächen zeigen nach der Arbeitskarte Nutzung an 34 Standorten eine industrielle Vornutzung (9 mal „Bahnflächen“, 8 mal „Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb“, 7 mal „sonstige Industrie- und Gewerbeflächen“, 7 mal „Eisenhütten- und Stahlwerk, Sinteranlage, Gießerei, Zinkhütten“, 3 mal „Halde, Deponie, Ablagerung“). 6 Standorte waren zuvor als landwirtschaftliche Flächen, 2 als Kleingartenanlagen, ein Standort als Wohnbaufläche und einer als Wasserfläche verzeichnet. In 11 Fällen ist die bekannte Vornutzung ebenfalls schon „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“ oder unbekannt.
- Im Vergleich der unterschiedlichen Flächennutzungen liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2), der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.8), der mittleren jährlichen Sickerwasserraten (SWRj, vgl. Abb. 4.1.5) und der Luftkapazität (LK) im Mittelfeld (vgl. Abb. 4.1.10). Für diese beiden Bodenraumeinheiten ist aber – aufgrund der vielfältigen Vornutzungen oft industrieller Art – eine extreme Streuung der Bodenkennwerte charakteristisch. In Parkanlagen ist oft über die Mischsubstrate und technogenen Ablagerungen ein Oberboden aus natürlichem Bodenmaterial aufgebracht. Je nachdem, wie mäch-

tig diese Schicht ist, nimmt sie mehr oder weniger Einfluss auf die Standorteigenschaften des Bodens.

- Die Unterschiede zwischen den schluff-/lehm- und den sandgeprägten Bodenräumen in den bodenphysikalischen Werten sind, mit Ausnahme der k_f -Werte, relativ gering. Die k_f -Werte unterscheiden sich deutlich (vgl. Abb. 4.1.12). Die Gründe dafür sind ähnlich wie bei der Flächennutzung Wohnbebauung. Die verdichtungsempfindlichen Schluffe wurden bzw. werden vor Befahren und schweren Auflasten bei nassen Bodenverhältnissen auch in den Grünflächen nicht geschützt. Ein Einfluss auf die k_f -Werte der schluffig/lehmigen Bodenregionen nehmen aber auch pedogene Tonverlagerungsprozesse (vgl. Beschreibung zu Abb. 4.1.12).
- In der Konzeptbodenkarte werden jeweils den sandgeprägten und den schluff-/lehmgeprägten Böden die Mediane dieser beiden Bodenraumeinheiten zugewiesen. Eine weitere Unterteilung auf dieser Maßstabsebene und mit der vorliegenden Fallzahl erfolgt nicht.
- Der Median der Fe_t -Massen in den Böden liegt im Vergleich zu den anderen neuen Bodenraumeinheiten im mittleren Bereich, weist aber eine extreme Streuung auf mit 5 bis 242 kg Fe pro m^3 (vgl. Abb. 4.1.14). Die sehr hohen Werte sind Böden ehemaliger Güterbahnflächen zuzuordnen, die heute Grünflächen oder Brachen sind. Nur 5 kg Fe pro m^3 finden sich dagegen in einem Hochofenschlackenprofil, welches heute eine Brachfläche ist. Diese breite Streuung der Werte kann als typisch für diese Flächennutzung angesehen werden, da ja fast alle Flächen dieser Gruppe eine intensive anthropogene Vornutzung erfahren haben.
- Die Erklärung für die starke und sehr uneinheitliche Bodenüberprägung in den heutigen Park- und Grünflächen findet sich in der Siedlungsgeschichte des Ruhrgebietes. Viele städtische Parkanlagen wurden erst geschaffen, nachdem die ‚neue‘ Stadt in einem meist sehr rasanten und ungeordneten Wachstum um Zechen und Industriewerke herum bereits entstanden war. Oft wurden für den neuen Stadtpark Fisch- und Feuerlöschteiche, Schlammbecken oder andere Senken zugeschüttet oder auch ältere Bebauung abgerissen, um ‚Luft- und Erholungsflächen‘ zu schaffen. Der zweite und flächenmäßig größere Flächenpool in dieser Gruppe stammt aus dem Niedergang der Schwerindustrie. Diese Flächen sind zum Teil bewusst in Erholungsflächen umgestaltet worden (z.B. Landschaftspark Duisburg Nord, Zeche Zollverein), zum Teil sind es aber auch Flächen, für die bisher noch keine geeignete Nachnutzung gefunden werden konnte.

4.2.3 Zeche, Schacht, Kokerei, Gaswerk, Bergbaubetrieb



Abb. 4.2.3: Syrosem aus Bergematerial aus einem Bauschutt-/Schluff-Gemisch (Gelsenkirchen) (Foto: Höke)

Es liegen insgesamt 13 Bodenprofile aus dieser neuen Bodenraumeinheit vor:

- Davon enthalten 9 Mischsubstrate und 4 technogene Monosubstrate. Als Monosubstrate treten Steinkohlenberge (3 Böden) und Bauschutt (1 Boden) auf (vgl. Abb. 4.1).
- Die Mischsubstrate enthalten dominant Bergematerial und Bauschutt, z.T. vermischt mit natürlichem Bodenmaterial. Auch Schlämme (vor allem Kohleschlämme aus den Kohlewäschen) liegen häufiger vor.
- Eine Untergliederung in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenräume wird in der Konzeptbodenkarte nicht vorgenommen, da i.d.R. eine so starke Überprägung des natürlichen Bodensubstrats durch die mächtigen Aufschüttungen vorliegt, dass sich die Eigenschaften des ursprünglichen Bodenmaterials im Mittel nicht mehr relevant auf die Bodenkennwerte auswirken.
- Die meisten der untersuchten Flächen haben aktuell die Nutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“. Einige sind auch der Nutzungskategorie „Wald“ zugeordnet.
- Im Vergleich der unterschiedlichen neuen Bodenraumeinheiten liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.8) im unteren Bereich, in ähnlicher Größenordnung wie die ‚Halden & Deponien‘ und sind als gering einzustufen. Demzufolge sind die mittleren jährlichen Sickerwasserraten im Vergleich der Flächennutzungen hoch (vgl. Abb. 4.1.5). Diese Ausbildung der Bodeneigenschaften ist vor allem auf die hohen Skelettgehalte in den Böden zurückzuführen.
- Der Median der Luftkapazität ist als mittelhoch einzustufen, aber die LK liegt im Vergleich der Mediane der unterschiedlichen Flächennutzungen im unteren Bereich.
- Die gesättigten Wasserleitfähigkeiten sind als gering einzustufen und liegen auch im Vergleich der neuen Bodenraumeinheiten untereinander eher im unteren Bereich. Dieses ist durch die schluffig/lehmige Feinbodenart von 9 der 13 vorliegenden Böden bedingt. Da aber nur 5 von den 13 Profilen der schluffig/lehmigen Bodenregion zuzuordnen sind, kommt hier zum Tragen, dass

tonig/schluffiges Bergematerial auch relativ direkt zu tonig/schluffigem Feinboden verwittert. Die Trockenraumdichten in den Profilen variieren zwischen gering und sehr hoch. Nur 2 von den 13 Böden zeigen im Mittel Grobbodenanteile unter 50 Gew.-%.

- Der Median der Fe_t-Massen in den Böden liegt im Vergleich zu den anderen Flächennutzungen im unteren Mittelfeld (vgl. Abb. 4.1.13). Die Streuung ist mit 14 bis 49 kg Fe pro m³ vergleichsweise gering (vgl. Abb. 4.1.12). Nach Hiller (1996) sind die Fe_t-Gehalte auf solchen Flächen im Mittel mehrerer betrachteter Profile im Vergleich zu den jeweils benachbarten naturnahen Böden auch auf diesen Flächen etwas erhöht.

Auch Mansfeld (2001) führt auf, dass die Flächen der Zechen oft mehrere Meter mächtig aufgeschüttet sind. Benachbart zu den Zechen finden sich zumeist die Standorte der Kohleverarbeitungs- und Veredlungsanlagen. Nach Hiller (1996) finden sich auf den Zechenflächen vornehmlich Bergematerial, Aschen und Bauschutt aber auch Lößlehm, Kiese und Sande.

Mansfeld (2001) führt an, dass die Böden ehemaliger Kokereien infolge der Oxidation des Sulfid-Schwefels über elementaren Schwefel bis hin zur Schwefelsäure typischerweise stark bis extrem stark versauert sind. Gleiches gilt für Böden die viel Bergematerial enthalten. Die Gaswerke stellen aus Kohle unter Sauerstoffabschluss u.a. Koks und Methangas her. Entsprechende Böden sind durch Metallsulfide und Kohlepartikel schwarz gefärbt. Die bei der Gasherstellung anfallenden Teeröle sind durch Unfälle oder Kriegsschäden auch in die Böden gelangt und bilden dort Aggregatüberzüge. Wenn dabei ein Aufstau stattfand, erfolgte auch eine Migration in die Lößmatrix hinein.

Hiller (1996) leitete aus seinen Geländekartierungen auch ab, dass die Mehrzahl der Böden der Zechen- und Kokereistandorte mit carbonathaltigem Bauschutt und alkalisch wirkenden Aschen durchsetzt sind. Die eigenen Kartierungen bestätigen diese Beobachtungen von Hiller (1996), da sich überwiegend Böden aus Mischsubstraten in dieser Gruppe finden. Die oft auftretende Mischung der Substrate schwächt die Ausbildung von sonst sehr extremen Standortbedingungen etwas ab.

4.2.4 Eisenhüttenwerk, Stahlwerk, Sinteranlage, Galvanik, Gießerei, Zinkhütte



Abb. 4.2.4: Syrosem aus Hochofenschlacke (Duisburg) (Foto: Höke)

Es liegen insgesamt 8 Bodenprofile aus dieser neuen Bodenraumeinheit vor:

- Davon enthalten 5 Mischsubstrate und 3 technogene Monosubstrate. Als Monosubstrate treten Bauschutt, Schlacke und Schlamm auf (vgl. Abb. 4.1).
- Die Mischsubstrate bestehen vornehmlich aus Schlacken, Aschen, Schlämmen und Bauschutt. Vereinzelt kommen auch natürliches Bodenmaterial und Steinkohlenbergematerial hinzu.
- Eine Untergliederung in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenräume wird in der Konzeptbodenkarte nicht vorgenommen, da i.d.R. eine so starke Überprägung des natürlichen Bodensubstrats durch die mächtige Aufschüttungen vorliegt, dass sich die Eigenschaften der ursprünglichen Bodenausgangssubstrate im Mittel nicht mehr relevant auf die Bodenkennwerte auswirken.
- Alle untersuchten Böden haben die aktuelle Flächennutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“.
- Charakteristisch sind sehr große Spannweiten der bodenphysikalischen Bodeneigenschaften auf diesen Flächen, da sowohl grobstückige oder sogar blockige Schlacke- als auch reine Schlammprofile vorliegen.
- Im Vergleich der unterschiedlichen neuen Bodenraumeinheiten liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.8) im mittleren bis oberen Bereich, in ähnlicher Größenordnung wie „Allgemeine Industrie- und Gewerbegebiete“, und sind als mittel einzustufen. Demzufolge liegen die mittleren jährlichen Sickerwasserraten im Vergleich der Flächennutzungen im unteren Mittelfeld (vgl. Abb. 4.1.5), sind aber immer noch als hoch einzustufen. Diese Ausbildung der obigen Bodeneigenschaften in dieser Nutzungsgruppe weist extreme Streuungen auf. Es treten Böden rein aus carbonatisierten Schlacken auf, deren nFKWe äußerst gering ist. Es treten aber auch Böden rein aus Gichtgasschlämmen auf, deren nFKWe die der naturnahen schluffigen Böden aus der Region oft noch übersteigt, da die Schlämme, im Gegensatz zu den meist anthropogen verdichteten Schluffböden, zumeist sehr locker gelagert sind.

- Der Median der Luftkapazität ist als mittelhoch einzustufen, liegt aber im Vergleich der Mediane der unterschiedlichen neuen Bodenraumeinheiten im oberen Bereich (vgl. Abb. 4.1.9 & 4.1.10). Im Vergleich neigen die Schlacken, wenn sie als Stückschlacken zur Herstellung eines gut befahrbaren Untergrundes abgelagert wurden, nicht so stark zur Verdichtung wie das oft plattige Bergematerial, welches sich bei Auflast einregelt und dann sehr dicht werden kann. Auch zeigen viele der vorliegenden Böden, dass sich zunächst ein mittel- bis grobsandiges Feinbodensubstrat aus den verwitternden Schlacken bildet, wohingegen die tonige und schluffige Berge auch schnell im Feinboden höhere Ton- und Schluffanteile zeigt.
- Der Median der gesättigten Wasserleitfähigkeit ist gerade noch als hoch einzustufen. Er liegt im Vergleich mit den sandgeprägten übrigen Flächennutzungen im mittleren unteren Bereich, ist aber im Vergleich mit den schluffgeprägten Flächennutzungen als hoch anzusehen (vgl. Abb. 4.1.13).
- Die Fe_r -Mengen in den Böden sind im Vergleich zu den anderen Flächennutzungen erhöht. Sie liegen auf einem ähnlichen Niveau wie in den Böden der Kleingärten und werden nur noch übertroffen von den Bahnflächen (vgl. Abb. 4.1.14). Ursächlich für die Eisenanreicherung in den Böden sind weniger verbliebene Eisenerzreste, sondern primär die in großen Mengen angefallenen sehr Fe-reichen Gichtgas- und Sinteranlagenstäube. Die Gichtgasstäube weisen so hohe Fe-Gehalte auf, dass die gröberen Staubanteile schon sehr früh wieder als Rohstoff gesintert und erneut verhüttet werden. Zu Beginn der Fe-Herstellung gelangten diese Stäube ohne Filterung in die Umgebung. Aber auch heute sind nicht alle gefilterten Stäube wieder nutzbar und werden in Gichtgasschlammdeponien oder -halden abgelagert (vgl. auch Höke 2003). Da die Gichtgasschlämme eine sehr hohe nFKWe aufweisen, setzen reine Schlammdeponien möglicherweise weniger Fe in die Grund- und Oberflächengewässer frei als z.B. geringmächtigere Zwischenlagen in den Böden, die wenn z.B. Schlacken darüber liegen – auch noch zu lokalen Stauhorizonten werden. Dadurch kann es dann zur Ausbildung reduzierender und somit eisenmobilisierender Bedingungen kommen.

4.2.5 Bahnflächen



Abb. 4.2.5: Regosol aus Aschen, Schlacken und Bergematerial (ehem. Güterbahnhof Essen Frintrop) (Foto: Höke)

In der Datenbank liegen zur Zeit 10 Bodenprofile in dieser neuen Raumeinheit vor:

- Davon enthalten 9 Mischsubstrate und eines technogene Monosubstrate (Schlacke) (vgl. Abb. 4.1),
- die einen relativ homogenen Bodenaufbau zeigen. In den Gleisbereichen liegt in der Regel ein frostsicherer und schwerlastgeeigneter Oberbau aus Schlacken-, Basalt- oder Kalksteinskelett mit Aschen und/oder Abrieb gefüllt (heute der Oberboden) über einem entsprechenden Unterbau vor, der im Emscherraum zumeist aus Bergematerial, Aschen und Schlacke besteht. Vereinzelt finden sich auch Schlämme. Im Bereich der Schienenbegleitwege besteht der gleiche Unterbau wie im Gleisbereich. Der Oberbau setzt sich jedoch zumeist aus ähnlichem Material zusammen wie der Unterbau. Bauschutt tritt relativ selten auf.
- Eine Untergliederung in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenraumeinheiten wird in der Konzeptbodenkarte nicht vorgenommen, da i.d.R. eine so starke Überprägung des natürlichen Bodensubstrats durch die mächtigen Aufschüttungen vorliegt, dass sich die Eigenschaften im Mittel nicht mehr relevant auf die Bodenkennwerte auswirken,
- die heute alle der aktuellen Flächennutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“ zuzuordnen sind.
- Im Vergleich der unterschiedlichen neuen Bodenraumeinheiten sind die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.7) mit deutlichem Abstand am geringsten und als sehr gering einzustufen (vgl. Abb. 4.1.1 & 4.1.6). Demzufolge liegen die mittleren jährlichen Sickerwasserraten am höchsten im Vergleich aller Flächennutzungen (vgl. Abb. 4.1.4) und sind als sehr hoch einzustufen. Offen bleibt aber noch eine fachgerechte Bewertung der Profile mit starkem Zwischenabfluss. Die Ausbildung der Bodeneigenschaften in dieser Flächennutzungsgruppe weist vergleichsweise geringe Streuungen auf. Die oft großen innerstädtischen heutigen Grün-/Brachflächen der ehemaligen Güterbahnhöfe tragen daher in einem wesentlich geringeren Ausmaß zu

einem Wasserrückhalt in der Landschaft (Hochwasserschutz) und einem kühleren städtischen Klima bei, als sie es bei einem naturnäheren Bodenaufbau könnten. Hier besteht ein großes Aufwertungspotenzial. Da Bahnflächen auch oft an Gewässerverläufe angelehnt verlaufen und diese wiederum Frischluftschneisen darstellen können, wirken sich ggf. die geringen Bodenkühlleistungen auf solchen Flächen besonders negativ aus. Auch die hohen Sickerwasserraten sind bei dem überwiegend aufgeschütteten Unterbau und den oft vorliegenden auch bahnbetriebsbedingten Bodenbelastungen eher kritisch zu betrachten.

- Der Median der Luftkapazität ist durch den hochverdichteten Unterbau als gering einzustufen und die LK ist im Vergleich aller Mediane am geringsten (vgl. Abb. 4.1.8 & 4.1.9). Da der Unterbau so angelegt ist, dass sich das Niederschlagswasser auch bei extremen Niederschlägen nicht in den Oberboden hinein staut, erfolgt folglich nach Niederschlägen in der Regel ein schneller Zwischenabfluss. Auch die kaum verfügbaren Luftkapazitäten zur Aufnahme von Niederschlägen bieten daher auf Bahnflächen ein hohes Aufwertungspotenzial.
- Der Median der gesättigten Wasserleitfähigkeit ist als mittel einzustufen. Er liegt im Vergleich mit den sandgeprägten übrigen Bodenraumeinheiten im unteren Bereich, ist aber im Vergleich mit den schluffgeprägten Bodenraumeinheiten wiederum als hoch anzusehen (vgl. Abb. 4.1.11).
- Die Fe_t -Massen in den Böden der Bahnflächen heben sich in ihrer Höhe deutlich von allen anderen Flächennutzungen ab (vgl. Abb. 4.1.13). Sie sind primär auf den Gleisabrieb zurückzuführen. Zusätzlich kommen noch Staubeinträge aus den benachbarten Werken und Ascheeinträge aus den Dampflokomotiven früherer Zeiten hinzu. Zu geringeren Anteilen können auch die eingebauten Substrate Berge und ggf. Stahlwerksschlacken einen Beitrag leisten. Die Streuung der Werte mit 55 bis 242 kg Fe pro m^3 ist hoch, ebenso wie auch der Minimalwert. Gehalte von 55 kg Fe pro m^3 treten in den Wohnbauflächen und den Flächen der Zechen, Kokereien und Gaswerke und der Friedhöfe gar nicht auf. Neben dem Eisen sind mit dem Schienenabrieb natürlich auch weitere Metalle in den Boden gelangt. Da Bahnflächen häufig entlang von Oberflächengewässern verlaufen (geringe Steigungen, ebenes Gelände), sollte ein Beitrag dieser Areale bei auftretenden Verockerungsproblemen ggf. geprüft werden.

Es liegen detaillierte bodenkundliche Untersuchungen zum ehem. Rangier- und Verschiebebahnhof Hohenbudberg in Duisburg (Burghardt & Hiller 1993, Hiller 1996) und zum ehem. Güterbahnhof in Essen Frintrop sowie zum Bahnhof der Zeche Zollverein vor (Burghardt & Milbert 2007, Burghardt & Düster 2002).

Burghardt & Milbert (2007) führen auf, dass in der Blütezeit des Kohlebergbaus die Bahnflächen im nördlichen Ruhgebiet etwa 4 % der Fläche einnahmen. Beim Auffüllen von Senken zum Nivellieren des Gleisgeländes fanden Abraum des Bergbaus, Industrieschlämme, Aschen und Schlacken Verwendung. Auf die so hergestellten ebenen Flächen wurde dann das Schotterbett für die Gleise aufgetragen.

Der Bahnflächenanteil der neu erstellten Konzeptbodenkarte beträgt im Testgebiet Bottrop 2,7 % und im Testgebiet Roßbach 5,1 %.

4.2.6 Sonstige Industrie- und Gewerbeflächen



Abb. 4.2.6: Regosol aus sauren Aschen mit Sandlagen über einem gekappten ehemaligem Podsolboden in Gelsenkirchen (Foto: Höke)

Es liegen insgesamt 14 Bodenprofile aus dieser neuen Bodenraumeinheit vor:

- Davon enthalten 12 Mischsubstrate und 1 Profil technogenes Monosubstrat (Schlamm) und 1 Boden ist noch als naturnah anzusprechen (vgl. Abb. 4.1).
- Es treten alle Arten von technogenen Substratenmischungen einschließlich von Mischungen mit Bodenmaterial auf. Ob bestimmte technogene Substrate bevorzugt auftreten, kann erst bei einer höheren Fallzahl an Profilen ausgesagt werden.
- Davon stammen 7 der Böden aus dem sandgeprägten und 7 aus dem schluff-/lehmgeprägten Bodenraum. In der Konzeptbodenkarte werden jeweils den sandgeprägten und den schluff-/lehmgeprägten Böden die Mediane dieser beiden Bodengruppen zugewiesen. Eine weitere Unterteilung auf dieser Maßstabsebene und mit der vorliegenden Fallzahl erfolgt nicht.
- Acht Standorte von den 14 Profilen haben heute die aktuelle Flächennutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“ und 6 werden auch aktuell noch als Industrie- und Gewerbeflächen genutzt. In diese Rubrik sind auch die Kläranlagenflächen mit aufgenommen worden. Zum Hochwasserschutz der baulich wertvollen Anlagen wurden diese Flächen in der Regel aufgeschüttet (geeignetes Aufschüttungsmaterial: Berge, Bauschutt, Asche, Schlacke). Oft finden sich abgelagerte Klärschlämme auf diesen Flächen oder in der näheren Umgebung (= geringe Transportkosten). Eine visuelle Sichtung der Klärschlammablagerungen aus der Abfallkarte zeigte, dass dieses Substrat, wie ja auch die Kläranlagen selbst, meist an tiefen Geländepunkten und gewässernah anzutreffen ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass hier aufgeschüttetes technogenes Substrat auch direkt im GW-Bereich liegt, ist hier sehr hoch. Pufferzonen zwischen der potenziellen Stoffquelle und Oberflächengewässer liegen dann nicht oder kaum vor.
- Im Vergleich der unterschiedlichen Flächennutzungen liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.7) im mittleren bis oberen Bereich, in ähnlicher Größenordnung wie die „Eisen- und Metallhüttenwerke“ und sind als mittel einzustufen. Demzufolge liegen die mittleren jährli-

chen Sickerwasserraten im Vergleich der Flächennutzungen im unteren Mittelfeld (vgl. Abb. 4.1.4), sind aber immer noch als hoch einzustufen. Diese Ausbildung der obigen Bodeneigenschaften in dieser neuen Bodenraumeinheit weist große Streuungen auf, die jedoch etwas geringer sind als auf den Eisen- und Metallhüttenflächen.

- Der Median der Luftkapazität ist als mittelhoch einzustufen und die LK liegt im Vergleich der Mediane der unterschiedlichen neuen Bodenraumeinheiten im mittleren Bereich (vgl. Abb. 4.1.8 & 4.1.9). Die Unterschiede zwischen sand- und schluffgeprägten Bodenregionen sind gering.
- Der Median der gesättigten Wasserleitfähigkeit zeigt große Unterschiede zwischen den sand- und den schluffgeprägten Bodenregionen (vgl. Abb. 4.1.11). Der Median der sandgeprägten Bodenregion liegt im Vergleich mit den übrigen sandgeprägten Flächennutzungen im mittleren Bereich. Die kf-Werte im Bereich der schluffgeprägten Flächennutzungen sind als gering bis mittel anzusehen.
- Der Median der **Fe_t-Massen** in den Böden liegt im Vergleich zu den anderen neuen Bodenraumeinheiten noch recht hoch (vgl. Abb. 4.1.13). Die Mediane aus der sand- und der schluffgeprägten Bodenregion unterscheiden sich deutlich, das liegt aber vermutlich nicht an der Bodenart der Ausgangsböden, sondern eher an den speziellen Vornutzungen der Flächen. Neben den Substraten zur Geländeerhöhung sind die höheren Fe_t-Gehalte wahrscheinlich auch auf die oft hohen Fe_t-Gehalte in den Schlammablagerungen aus den Gewässern früherer Zeiten zurückzuführen. Einige Jahrzehnte lang wurden die Gichtgasschlämme aus den Hochöfen und später auch die Filterschlämme aus den Stahlwerken zur Entsorgung direkt in die Gewässer eingeleitet. Auch die auf diese Periode folgenden frühen Werkskläranlagen hielten nicht alles an den ausgewaschenen Stäuben zurück.

4.2.7 Kleingarten, Gartenland



Abb. 4.2.7: Regosol aus reliktem Hortisol über reliktem Gley (Essen) (Foto: Burghardt)

Es liegen 11 Bodenprofile in dieser Bodenraumeinheit vor:

- Davon enthalten 8 Mischsubstrate und sind 3 als naturnah anzusprechen, sofern die zum Teil erheblichen Staub- und Ascheanteile im Substrat nicht berücksichtigt werden (vgl. Abb. 4.1).
- Als technogene Substratanteile werden Asche/Schlacke und Bauschutt beschrieben. Charakteristisch für diese Böden sind ihre hohen Humusgehalte.
- Davon stammt die Hälfte der Böden aus dem sandgeprägten und die andere Hälfte aus dem schluff- und lehmgeprägten Bodenraum. In der Konzeptbodenkarte werden jeweils den sandgeprägten und den schluff-/lehmgeprägten Böden die Mediane dieser beiden Bodengruppen zugewiesen. Eine weitere Unterteilung auf dieser Maßstabsebene und mit der vorliegenden Fallzahl erfolgt nicht.
- Drei Standorte von den 11 Profilen haben heute die aktuelle Flächennutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“ und 8 werden noch als Kleingarten genutzt.
- Im Vergleich der unterschiedlichen Bodenraumeinheiten liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.8) im oberen Bereich und sind in den sandgeprägten Bodenregionen mittel und in den schluffgeprägten als sehr hoch einzustufen (vgl. Abb. 4.1.3). Demzufolge liegen die mittleren jährlichen Sickerwasserraten im Vergleich der Bodenraumeinheiten im unteren Bereich (vgl. Abb. 4.1.5), sind aber noch als mittel einzustufen.
- Der Median der Luftkapazität ist als hoch einzuordnen und liegt im Vergleich der Mediane der unterschiedlichen Bodenraumeinheiten im oberen Bereich (vgl. Abb. 4.1.9 & 4.1.10). Die Luftkapazität liegt erwartungsgemäß in den schluffgeprägten Bodenregionen höher als in den sandgeprägten.
- Der Median der gesättigten Wasserleitfähigkeit zeigt große Unterschiede zwischen den sand- und den schluffgeprägten Bodenregionen (vgl. Abb. 4.1.12). Der Median der schluffgeprägten

Kleingärten liegt in der Höhe vergleichbar mit dem der Wohnbauflächen. Die Gründe dafür sind ähnlich wie bei der Flächennutzung Wohnbebauung. Die verdichtungsempfindlichen Schluffe wurden bzw. werden vor Befahren und schweren Auflasten bei nassen Bodenverhältnissen auch in den Kleingartenanlagen nicht immer und überall geschützt, und einen Einfluss nehmen auch pedogene Tonverlagerungsprozesse (vgl. Beschreibung zu Abb. 4.1.12).

- Die Kleingärten enthalten gemeinsam mit den Böden auf ehemaligen Eisen- und Metallhüttenstandorten die höchsten Fe_t -Mengen, abgesehen von den Bahnflächen. Es liegen aber bisher nur 4 Kleingartenprofile mit gemessenen Fe_t -Gehalten in der Datenbank vor. Hohe Fe_t -Mengen in den Böden der Kleingartenanlagen sind aber plausibel. Viele Kleingärten sind oder waren als Pufferzonen zwischen Industrie- oder Bahnanlagen und der Wohnbebauung angesiedelt. Daher sind in der Vergangenheit große Mengen an zumeist Fe -reichen Stäuben über den atmosphärischen Pfad in diese Böden eingetragen worden. Für das Brückentorviertel in Oberhausen wurden Staub-/Ascheintragsmengen von 40 bis 212 kg pro m^2 für die letzten 200 Jahre berechnet (Höke 2003). Bei dem Boden mit 212 kg pro m^2 Eintrag handelt es sich um einen ehemaligen Kleingarten in direkter Nachbarschaftslage zur ehemaligen Gutehoffnungshütte. Dabei können aber die Staubeinträge aus der Atmosphäre nicht getrennt werden von möglichen Hausbrand-Ascheinträgen als Dünger. Die Fe_t -Gehalte in den Stäuben lagen dabei etwa zwischen 5 bis 13 Gew.-% (50 % Quantil).

4.2.8 Halde, Deponie, Ablagerung



Abb. 4.2.7: Regosol aus Sand und Bauschutt über Spülmaterialeinlagerung mit Stauwassereinfluss (Bottrop) (Foto: ahu AG / Bönsch & Schomers)

Es liegen insgesamt 15 Bodenprofile in dieser Bodenraumeinheit vor:

- Davon enthalten 8 Steinkohlenberge, 2 Schlämme und eines Schlacke als Monosubstrat. An 4 Standorten traten Mischsubstrate auf (vgl. Abb. 4.1). Ob bestimmte technogene Mischsubstrate bevorzugt auftreten, kann erst bei einer höheren Fallzahl ausgesagt werden.
- Eine Untergliederung in sand- und schluff-/lehmgeprägte Bodenräume wird in der Konzeptbodenkarte nicht vorgenommen, da i.d.R. eine so starke Überprägung des natürlichen Bodensubstrats durch die mächtigen Aufschüttungen vorliegt, dass sich die Eigenschaften im Mittel nicht mehr relevant auf die Bodenkennwerte auswirken.
- Sechs Standorte von den 15 Profilen haben heute die aktuelle Flächennutzung „Wald“ und 3 die Flächennutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“. Nur 4 Standorte sind aktuell auch als Halde oder Deponie gekennzeichnet. Einer der Standorte ist heute bebaut, und einer ist den sonstigen Industrie- und Gewerbeflächen zuzurechnen.
- Im Vergleich der unterschiedlichen Bodenraumeinheiten liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.8) im unteren Bereich und sind nur noch auf den Bahnflächen geringer. Demzufolge sind die mittleren jährlichen Sickerwasserraten im Vergleich Flächennutzungen untereinander hoch (vgl. Abb. 4.1.5), und sind auch insgesamt als hoch einzustufen. Die Ausprägung der Bodeneigenschaften dieser neuen Bodenraumeinheit wird von Steinkohlenbergematerial dominiert. Die Streuungen der Werte sind aber hoch, da auch Schlammdeponien auftreten. Die Streuungen sind auch etwas geringer als in der Bodenraumeinheit „Eisen- und Metallhüttenflächen“.

- Der Median der Luftkapazität ist als mittelhoch einzustufen und liegt im Vergleich der unterschiedlichen Bodenraumeinheiten im unteren Bereich (vgl. Abb. 4.1.9 & 4.1.10).
- Der Median der gesättigten Wasserleitfähigkeit ist von allen betrachteten neuen Bodeneinheiten am geringsten, jedoch noch als mittel einzustufen (vgl. Abb. 4.1.11 & 4.1.12). Es liegen in dieser Bodeneinheit viele Profile vor, in denen eine Einregelung des zumeist plattigen Bodenskeletts in eine lehmig-tonige Feinbodenmatrix erfolgt, die sich im Bergematerial oft ausbildet (es gibt aber auch Bergematerial aus Sandsteinpartien). Zudem wird Bergematerial oft bewusst verdichtet eingebaut, um die Haldenbrandgefahr gering zu halten.
- Die **Fe_t-Massen** in den Böden liegen im Median mit 34 kg pro m³ im mittleren Bereich im Vergleich der betrachteten Bodenraumeinheiten (vgl. Abb. 4.1.14). Von den 10 Böden mit vorliegenden Fe_t-Gehalten sind 6 dem Monosubstrat Bergematerial zugeordnet. In diesen Böden aus Steinkohlenberge variieren die Fe_t-Mengen in einer relativ großen Spanne zwischen 17 und 66 kg pro m³ mit einem Median von 34 kg pro m³. Hier weist also bereits das Monosubstrat sehr unterschiedliche Fe_t-Gehalte auf.

4.2.9 Gemischte Nutzung



Abb. 4.2.8: Regosol aus umgelagerten fluviatilen Sand/ Sandlöss mit Bauschuttbeimengungen über Siedlungs- und Straßenbauschutt (Bottrop) (Foto: ahu AG / Bönsch & Schomers)

Es liegen insgesamt 23 Bodenprofile in dieser Bodenraumeinheit vor:

- Davon bestehen alle Böden aus Mischsubstraten (vgl. Abb. 4.1).
- Es treten alle Arten von technogenen Substratenmischungen einschließlich Mischungen mit natürlichem Bodenmaterial auf. Ein gehäuftes Auftreten bestimmter Substrate ist nicht zu erkennen.
- Davon stammen 13 Böden aus dem sandgeprägten und 10 Böden aus dem schluff- und lehmgeprägten Bodenraum. In der Konzeptbodenkarte werden jeweils den sandgeprägten und den schluff-/lehmgeprägten Böden die Mediane dieser beiden Bodenraumeinheiten zugewiesen. Eine weitere Unterteilung auf dieser Maßstabsebene und mit der vorliegenden Fallzahl erfolgt nicht.
- 12 Standorte von den 23 Profilen lassen sich auch der aktuellen Flächennutzung „Parkanlage, Grünfläche, Gehölz, Brache“ zurechnen und 7 werden zu Wohnbauzwecken genutzt. 3 Standorte werden heute als „Wald“ geführt.
- Im Vergleich der unterschiedlichen Flächennutzungen liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität (nFKWe, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa, vgl. Abb. 4.1.8) im mittleren Bereich, in ähnlicher Größenordnung wie die der Bodenraumeinheit „Eisen- und Metallhüttenwerke“, und sind als mittel einzustufen. Demzufolge liegen die mittleren jährlichen Sickerwasserraten im Vergleich der Flächennutzungen im unteren Mittelfeld (vgl. Abb. 4.1.5), sind aber immer noch als hoch einzustufen. Diese mittlere Ausbildung der obigen Bodeneigenschaften in diesen Bodenraumeinheiten weist große Streuungen auf, die jedoch etwas geringer sind als auf den „Eisen- und Metallhüttenflächen“.

- Der Median der Luftkapazität ist als mittelhoch einzustufen und liegt im Vergleich der Mediane der unterschiedlichen Bodenraumeinheiten im oberen Mittelfeld (vgl. Abb. 4.1.9 & 4.1.10). Die Unterschiede zwischen der sand- und schluffgeprägten Bodenraumeinheit sind sehr gering.
- Der Median der gesättigten Wasserleitfähigkeit zeigt große Unterschiede zwischen den sand- und den schluffgeprägten Bodenraumeinheiten (vgl. Abb. 4.1.12 folgend). Der Median der sandgeprägten Bodenraumeinheit liegt im Vergleich mit den übrigen sandgeprägten Bodenraumeinheiten im unteren bis mittleren Bereich. Sandgeprägte Kleingärten, Wohnbauflächen und Friedhöfe weisen einen mit Abstand höheren Median auf.
- Der Median der Fe_t -Massen in den Böden liegt zwischen den Wohnbauflächen und den Bodenraumeinheiten, die zu höheren Fe_t -Mengen in den Böden geführt haben, und somit im unteren Bereich (vgl. Abb. 4.1.14). Die Spannweite der Fe_t -Massen ist sehr groß. Es deutet sich für die schluff- und lehmgeprägte Bodenraumeinheit ein höheres Fe_t -Niveau in den Böden an. Die möglichen Ursachen dafür sind bereits oben unter der Bodenraumeinheit „Industrie und Gewerbe“ kurz dargestellt worden.

4.2.10 Friedhofsböden

Es liegen insgesamt 6 Bodenprofile in dieser neuen Bodenraumeinheit vor:

- Davon enthalten 3 Mischsubstrate und 3 sind als naturnah anzusprechen. Die drei naturnahen Profile wurden außerhalb des eigentlichen Gräberfeldes gezogen (vgl. Abb. 4.1).
- Als technogene Substratbestandteile treten Bauschutt, Asche, Schlacke, Kohle und Berge auf.
- Alle Standorte sind nach der aktuellen Nutzungsausweisung noch Friedhöfe.
- Im Vergleich der unterschiedlichen Flächennutzungen liegen die Mediane der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität ($nFKWe$, vgl. Abb. 4.1.2) und der potenziellen Bodenkühlleistung (ETa , vgl. Abb. 4.1.8) mit Abstand am höchsten und sind als sehr hoch bzw. hoch einzustufen. Demzufolge liegen die mittleren jährlichen Sickerwasserraten im Vergleich der Bodenraumeinheiten mit Abstand am geringsten (vgl. Abb. 4.1.5) und sind als gering einzustufen. Es liegen aber zurzeit nur wenige Profile in diesen Bodenraumeinheiten vor und diese sind zurzeit noch schluffdominiert. Bei einer höheren Anzahl sand- oder lehmgeprägter Friedhöfe im Datenbankbestand werden sich die Mediane daher ziemlich sicher noch verschieben.
- Der Median der Luftkapazität ist als sehr hoch einzustufen und liegt im Vergleich der Mediane der Bodenraumeinheiten deutlich am höchsten (vgl. Abb. 4.1.9 & 4.1.10). Zu den Unterschieden zwischen sand- und schluffgeprägten Bodenraumeinheiten kann noch keine belastbare Aussage getroffen werden.
- Der Median der gesättigten Wasserleitfähigkeit zeigt große Unterschiede zwischen den sand- und den schluffgeprägten Bodenraumeinheiten (vgl. Abb. 4.1.12), die sicher auch bei einer höheren Profilhöhe erhalten bleiben. Im Vergleich aller Bodenraumeinheiten liegen bisher auf den Friedhöfen am seltensten geringe k_f -Werte vor. Im Bereich der eigentlichen Grabstätten ist die Wasserführung aber gestört und es ist bekannt, dass es durch Grabaushub mit einer Baggerschaufel zu deutlichen Verdichtungen im Unterboden/Untergrund in empfindlichen Böden kommen kann (Schluffe).
- Zu den **Fe_t -Massen** in den Friedhofsböden lassen sich noch keine Aussagen treffen, da nur 1 Profil mit Fe_t -Messwerten vorliegt. Dessen Gehalt ist mit $22 \text{ kg } Fe_t \text{ m}^3$ im Vergleich zu den anderen Bodenraumeinheiten gering (vgl. Abb. 4.1.14).

4.2.11 Fazit

- Die obigen Betrachtungen:
- zeigen, dass die durch den gewählten Ansatz differenzierten „neuen urban-industriellen Bodenraumeinheiten“ heute bodenkundlich charakterisiert werden können;
- bestätigen die Eignung des schon lange bekannten (historischen) Flächennutzungsansatzes als ein wichtiges Charakterisierungsmerkmal der urbanen/industriellen Böden (vgl. z.B. Schneider 2000);
- bestätigen den neu hinzugenommenen Ansatz der Einbeziehung des vorherrschenden „ehemaligen“ Bodensubstrates in die Bildung der neuen Bodenraumeinheiten. Die Charakterisierung der neuen Bodenraumeinheiten wird dadurch deutlich verbessert. Dazu stellt die BK 1 : 50.000 eine ideale digitale Datengrundlage;
- zeigen, dass eine verortete Bodendatenbank mit Profilen aus dem jeweiligen Untersuchungsraum eine Attributierung der neuen Bodeneinheiten im Maßstab 1 : 50.000 erlaubt. Sicher reicht hier die Anzahl der vorliegenden Stadtbodenprofile noch nicht für alle neuen Bodenraumeinheiten aus, um den Begriff Bodenkarte statt Konzeptbodenkarte zu verwenden, aber Ziel dieses Projektes war es ja auch „nur“, einen gangbaren Weg zur Erstellung aktueller bodenkundlicher Datengrundlagen zu erarbeiten;
- zeigen, dass urbane Bodenlandschaften auch bei angespannter finanzieller Lage der öffentlichen Hand kein bodenkartenfreier Raum bleiben muss. Es ist mit vertretbarem Mittelaufwand möglich, Boden(konzept)karten im Maßstab 1 : 50.000 zu erstellen, welche die heutige urban/industrielle Bodenlandschaft in ihren Grundzügen erfasst und für Planungsprozesse eine bessere Grundlage bildet als Bodenkarten, die noch weit überwiegend naturnahe Böden für diesen Raum aufweisen;
- wie tiefgreifend die anthropogene Bodenüberprägung ist und wie deutlich sich die verschiedenen (historischen) Flächennutzungen auf die Bodeneigenschaften auswirken und ausgewirkt haben.

5 URBANES BODENINFORMATIONSSYSTEM EMSCHERRAUM (URBIS-ER)

Aus URBIS-ER können mit Hilfe von Verknüpfungsregeln und Bewertungsschlüsseln Ergebniskarten abgeleitet werden.

Die Ergebniskarten liefern wichtige Planungshilfen für die Wasserwirtschaft, so zum Beispiel die pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität als Eingangsgröße für die Grundwassermodelle. Sie kann aber auch zur Beurteilung der natürlichen Bodenfunktion „Boden als Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen (vgl. §2 Abs. 2 BBodSchG 1998) genutzt werden.

Der Wasserkreislauf lässt sich definieren als ständige Folge der Zustands- und Ortsänderungen des Wassers mit den Hauptkomponenten Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und atmosphärische Wasserdampftransport (DIN 4049). Eine ausführliche Darstellung des Wasserkreislaufs der Bundesrepublik Deutschland ist z.B. in Häckel (2005) abgebildet. Die Böden spielen im Wasserkreislauf eine zentrale Rolle. Von im Bundesdurchschnitt 779 mm Flächenjahresniederschlag sickern 568 mm (73 %) in die Böden. Etwa 17 mm verdunsten bereits in der Luft, 72 mm werden durch die Pflanzen aufgefangen und verdunstet (Interzeption) und 122 mm fließen oberflächlich ab. Von dem in die Böden sickern den Wasser wiederum verdunstet das meiste durch die Pflanzen. Der Rest gelangt im Wesentlichen in das Grundwasser.

In hoher Abhängigkeit von den Versiegelungsgraden und -materialien sowie der anthropogenen Bodenüberprägung ist der natürliche Wasserhaushalt in den Städten stark verändert. Große Teile der Niederschläge werden direkt von den versiegelten Flächen in die Kanalisation abgeleitet. Die kühlende Verdunstung ist dadurch stark eingeschränkt, aber auch der für die Verdunstung notwendige Wind ist den Städten bis zu 30 % schwächer als im Umland (Häckel 2005).

5.1 Bodenwasserhaushalt in Stadtböden

Der Bodenwasserhaushalt umfasst viele Aspekte. Hier dargestellt werden Karten zur pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität der Böden und der Sickerwasserraten. Diese Bodenkennwerte tragen zu einer realistischeren Abschätzung

- der langjährigen mittleren Grundwasserneubildungsraten und zum
- Boden als Ausgleichskörper im Wasserhaushalt für eine Beurteilung gemäß BBodSchG

in einer anthropogenen Bodenlandschaft unter dem Einfluss des Klimawandels bei.

Die Abbildung 5.1.1 zeigt am Beispiel des Untersuchungsgebiets Roßbach die nFKWe aus der Sickerwasserkarte des GD NRW und berechnet im URBIS-ER. Streng genommen ist ein solcher Vergleich nicht ganz zulässig, da außer der veränderten Bodenlandschaft auch weitere dahinter liegende Berechnungsschritte differieren (z.B. der Ansatz der Trockenraummassen, der Ansatz der Wasserspeicherleistungen der einzelnen Bodenarten u.a.). Die Karte verdeutlicht aber dennoch die großen Unterschiede, die durch die anthropogene Bodenüberprägung gegeben sind. Das Testgebiet Roßbach war nach der BK 50 früher komplett durch schluffige Böden geprägt. Es dominierten auf rund 50 % der Fläche Parabraunerden, gefolgt von Gleyen (rund 13 %) und Gley-Pseudogleyen. Das sind alles Böden, deren nFKWe in der Regel als sehr hoch einzustufen sind (vgl. auch Karte 5.1.1 links). Durch die erfolgte anthropogene Bodenüberprägung (vgl. Tab. 3.3.1), deren Wirkungen auf die nFKWe in Kapitel 4 dargestellt sind, haben sich die pflanzenverfügbaren Wasserspeicherleistungen deutlich reduziert.

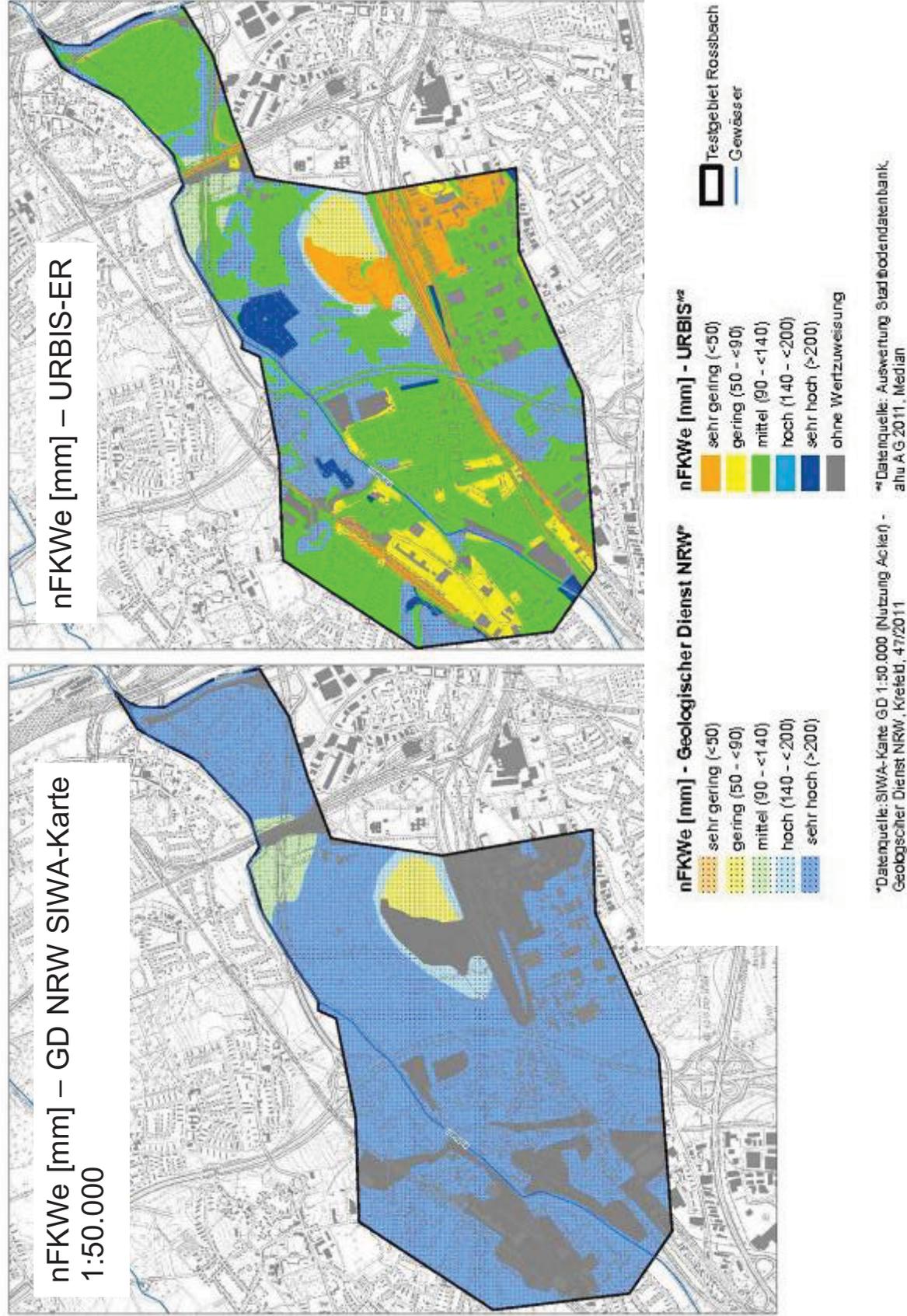


Abb. 5.1.1: Pflanzenverfügbare Wasserspeichergehalte im Testgebiet Roßbach

Die Karte 5.1.2 zeigt für das Testgebiet Bottrop eine Differenzkarte zwischen den pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazitäten aus der SIWA GD NRW Karte und den URBIS-ER Berechnungen.

Wenn die nFKWe der überprägten Böden geringer ist als nach der GD-Karte, ergeben sich positive Differenzen = rote Farben.

Ist die nFKWe der überprägten Böden höher als nach der GD-Karte, ergeben sich negative Differenzen = blaue Farben.

Auf großen Flächenanteilen im Testgebiet Bottrop liegen die Abweichungen zwischen + 25 und - 25 mm nFKWe und werden daher als nicht signifikant betrachtet. Allerdings zeigen die neuen Bodeneinheiten in diesen Flächen – es handelt sich hier überwiegend um die Wohngebiete – deutlich schlechtere nFKWe-Werte durch ihre anthropogene Überprägung als die ursprünglich naturnahen Böden dort. Die Ursache dafür, dass sich das im Kartenbild nicht durchprägt, liegt darin begründet, dass im Testgebiet Bottrop die noch naturnahen Böden aus der neu erstellten URBIS-ER-Karte aufgrund der Kartierergebnisse hinsichtlich ihrer nFKWe deutlich besser bewertet wurden als die Böden nach der SIWA-Karte des GD NRW. Die URBIS-ER-Kartierung zeigte das Auftreten feinsandiger mächtiger Eschböden, die durchaus annehmbare nFKWe-Werte erreichen können. Solche Böden sind in der GD-Bodenkarte nicht verzeichnet. Diese Werte gingen dann auch in die hier zugrundeliegenden Berechnungen ein. Wie verbreitet die Esche im Stadtgebiet Bottrop aber tatsächlich sind und waren, kann noch nicht ausgesagt werden, da der Schwerpunkt der Validierungskartierung in diesem Projekt auf den stark überprägten Böden lag.

Der rote Bereich im Südosten des Testraums kennzeichnet Bodenraumeinheiten, die schluff-/lehmgeprägt sind. Da die nFKWe dieser Böden ehemals deutlich höher lag als die der sandgeprägten Bodenraumeinheiten, ist der Wasserspeicherverlust durch die anthropogene Überprägung hier auch deutlich höher und sichtbarer.

Die Ableitung der **Sickerwasserraten** als eine Eingangsgröße der Grundwasserneubildung erfolgte in diesem Projekt mit Hilfe des TUB_BGR-Verfahrens (Ad-hoc-AG Boden 2003, Wessolek et al. 2004). Dieses Verfahren wurde gewählt, da es einfach zu handhaben ist und sehr viele Bodeneigenschaften mit bewertet werden (Höke et al. 2011).

Die vorhandenen Berechnungsverfahren zur Sickerwasserratenbildung berücksichtigen in der Regel noch keine stadttypische Vegetation. Die Verfahren unterscheiden in der Berechnung zwischen den Nutzungen Grünland, Ackerland und Wald. Da hier vergleichend die Leistung der Böden bewertet werden soll, wird für alle Böden Grünland als Vegetation zugrunde gelegt.

Die Karte 5.1.3 zeigt die Sickerwasserraten beispielhaft im Testgebiet Roßbach nach der SIWA-Karte des GD NRW und nach der URBIS-ER-Karte. Neben den oben bereits aufgeführten Unterschieden in der Berechnung der Eingangsdaten (Ansatz unterschiedlicher Trockenraumdichten usw.) sind hier zusätzlich noch unterschiedliche Sickerwassermodelle eingesetzt worden.

Aber auch hier zeigt ein Vergleich der Karten, dass die großen Unterschiede dort auftreten, wo heute die stark anthropogen überprägten Böden vorliegen. Auf die Darstellung einer Differenzkarte für das Testgebiet Bottrop wird hier verzichtet.

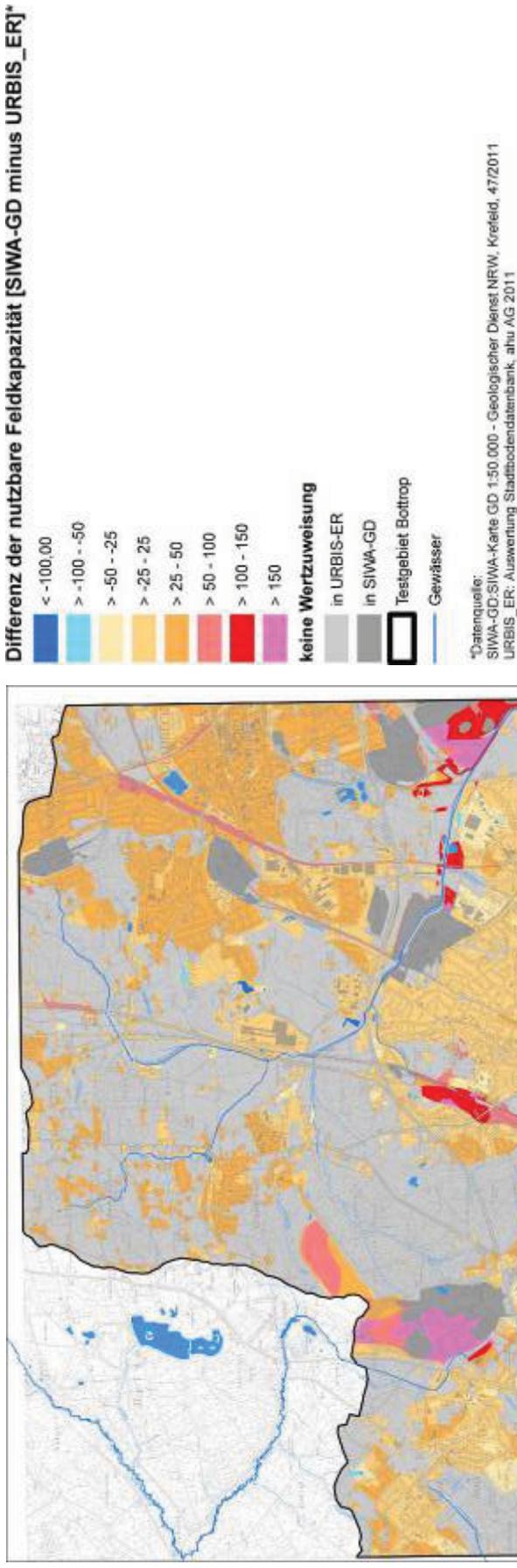
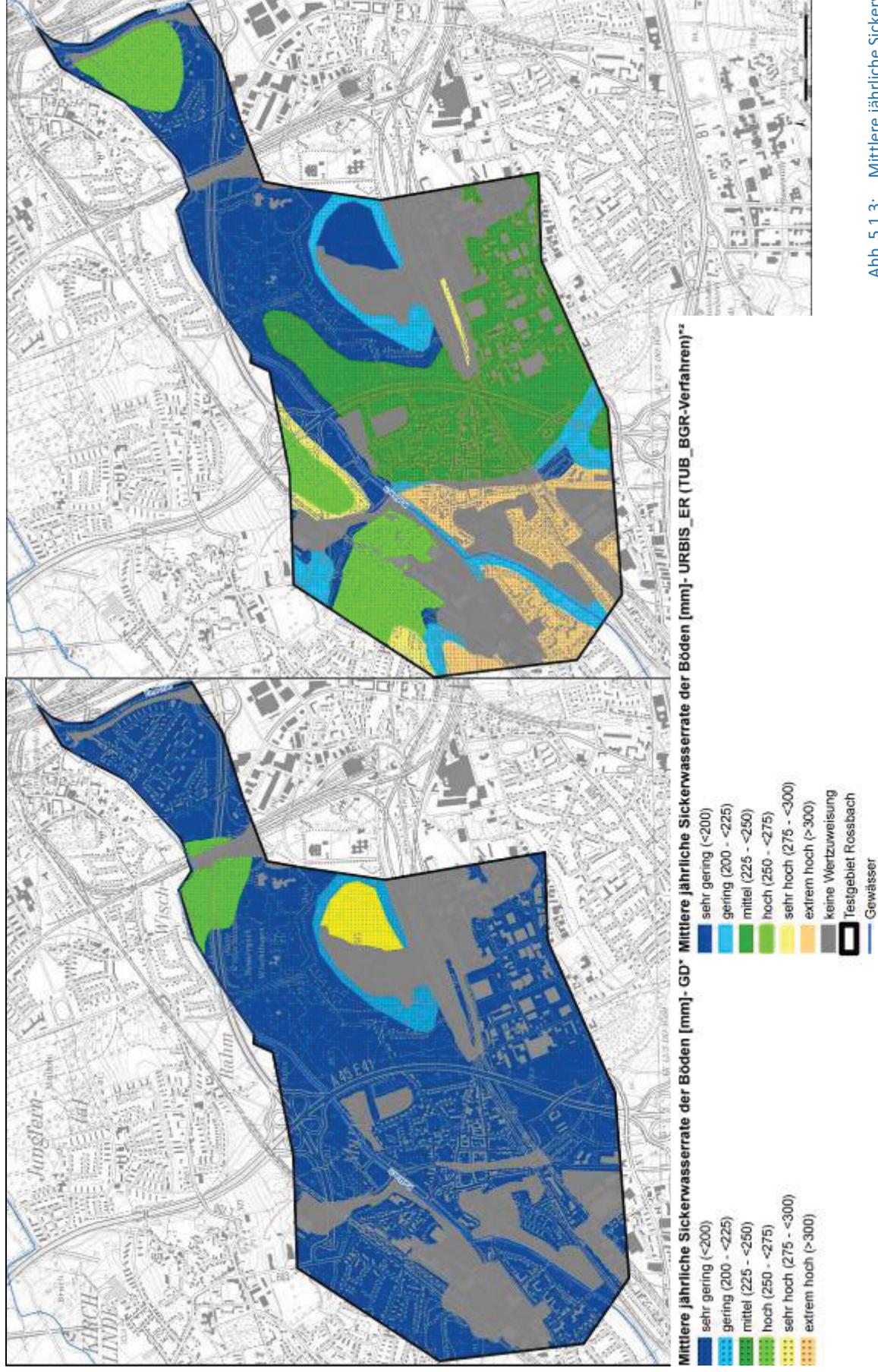


Abb. 5.1.2: Differenzkarte der pflanzenverfügbaren Wasserspeichergehalte im Testgebiet Bottrop



*Datenquelle: SIWA-Karte GD 1:50.000 (Nutzung Grünland) - **Datenquelle: Auswertung Stadtbodendatenbank/TUB_BGR-Verfahren (Nutzung Grünland), ahu AG 2011, Median

Abb. 5.1.3: Mittlere jährliche Sickerwasserraten der Böden im Testgebiet Rosbach

5.2 Kühlleistungen von Stadtböden

Böden mit hohen Wasserspeicherkapazitäten und/oder Grundwasseranschluss wirken ganzjährig ausgleichend auf die Lufttemperaturen und kühlend in den Sommermonaten. Durch die Verdunstung des Wassers entsteht die sogenannte „Verdunstungskühle“ (Baumgarten & Liebscher 1996). Tatsächlich wird durch den Verdunstungsprozess die Einstrahlungsenergie der Sonne verbraucht (latente Wärme) und daher nicht in fühlbare Wärme umgewandelt. Liegt kein zu verdunstendes Wasser mehr vor, fließt die Sonneneinstrahlung in die Erwärmung von Böden und anderen Oberflächen bzw. wird dort in die langwellige fühlbare Wärmestrahlung umgewandelt und erwärmt dann die bodennahe Atmosphäre (Harlaß 2008; Damm et al. 2012).

Die Verdunstung des Wassers aus den Böden erfolgt vor allem über die Pflanzen (ca. 89 %), direkt von den Bodenoberflächen verdunsten nur kleinere Anteile (ca. 11 %) (Schrödter 1985).

Die Verdunstungsrate beträgt in den Sommermonaten 2 bis 3 mm und in den Wintermonaten nur 0,1 bis 0,3 mm pro Tag (DWA 2002). Im Winterhalbjahr wird i. d. R. die im Boden gespeicherte Wassermenge aufgefüllt, da die Verdunstung dann geringer als die Niederschlagsmenge ist. Im Sommerhalbjahr ist die Verdunstung durch die Pflanzen so hoch, dass der Bodenspeicher komplett entleert werden kann. Daher ist die Größe der Bodenwasserspeicherkapazität trotz der ganzjährigen Niederschläge in Deutschland so wichtig für diese Ökosystemdienstleistungen der Böden.

Einige Böden sind in der Lage, auch während längerer sommerlicher Trockenzeiten die Pflanzen noch ausreichend mit Wasser zu versorgen und halten somit ihren Kühlungsbeitrag durch Verdunstungskälte lange aufrecht. Durch diese möglichen hohen Verdunstungsraten im Sommer können die Böden wesentlich zu einer Abkühlung der bodennahen Luftschicht und damit zu einem angenehmen Stadtklima führen.

Wird ein Füllstand von etwa 70 % der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität unterschritten, beginnen die Pflanzen ihre Verdunstungsleistung zu drosseln (DVWK 1996). Unter 40 % Füllstandshöhe wird die Verdunstung durch die Pflanzen bereits stark eingeschränkt und dann mit Annäherung an den permanenten Welkepunkt ganz eingestellt (Renger & Strebel 1982).

Die Karte der potenziellen Bodenkühlleistungen (vgl. Abb. 5.2.1) dient dazu, Bodenraumeinheiten zu erkennen, auf denen die Kühlleistungen besonders gut oder besonders schlecht ausgeprägt sind:

- Bodenraumeinheiten mit sehr hohen Kühlspotenzialen sollten in städtischen Räumen mit Überwärmungsproblemen (Hitzeinseln) von Bebauung freigehalten werden.
- Bodenraumeinheiten mit besonders schlechten Kühlleistungen sind Potenzialflächen (z.B. für Klimaanpassungs- oder Ausgleichsmaßnahmen), um der innerstädtischen Überhitzung nachhaltig entgegenzuwirken.

Für das Testgebiet Bottrop zeigt sich, dass Böden mit mittleren bis sehr hohen potenziellen Kühlleistungen kaum noch auftreten. Etwas höhere Anteile an kühlleistungsstarken Böden sind noch im nördlichen Stadtgebiet entlang der dort noch oberflächlich fließenden Bäche zu finden. Der überwiegende Teil des Testgebiets zeigt nur noch geringe bis mittlere potenzielle Bodenkühlleistungen. Zu diesen kühlleistungsschwachen Böden kommen noch die zum Teil sehr hohen Versiegelungsanteile hinzu. Beides zusammen bedingt dann, bei schlechter Belüftungssituation, die Ausbildung der städtischen Hitzeinseln. Von versiegelten Flächen verdunsten nur etwa 15 bis 20 % der Jahresniederschlagsmengen (Harlaß 2008). Bei angenommenen 775 mm mittleren Jahresniederschlägen im Raum Bottrop sind das etwa 116 bis 155 mm. Selbst ein Boden mit geringen potenziellen Kühlleistungen (hier 500 bis 525 mm) verdunstet fast die 4-fache Menge an Wasser! Um den Wärmebildungseffekt durch die geringe Verdunstung von den versiegelten Flächen zumindest etwas auszugleichen, bedarf es Böden in den offenen Bodenflächen stark versiegelter Gebiete, die zur Zeit der Ausbildung der Hitzeinseln in den Sommermonaten gespeichertes Wasser zu Verfügung stellen können.

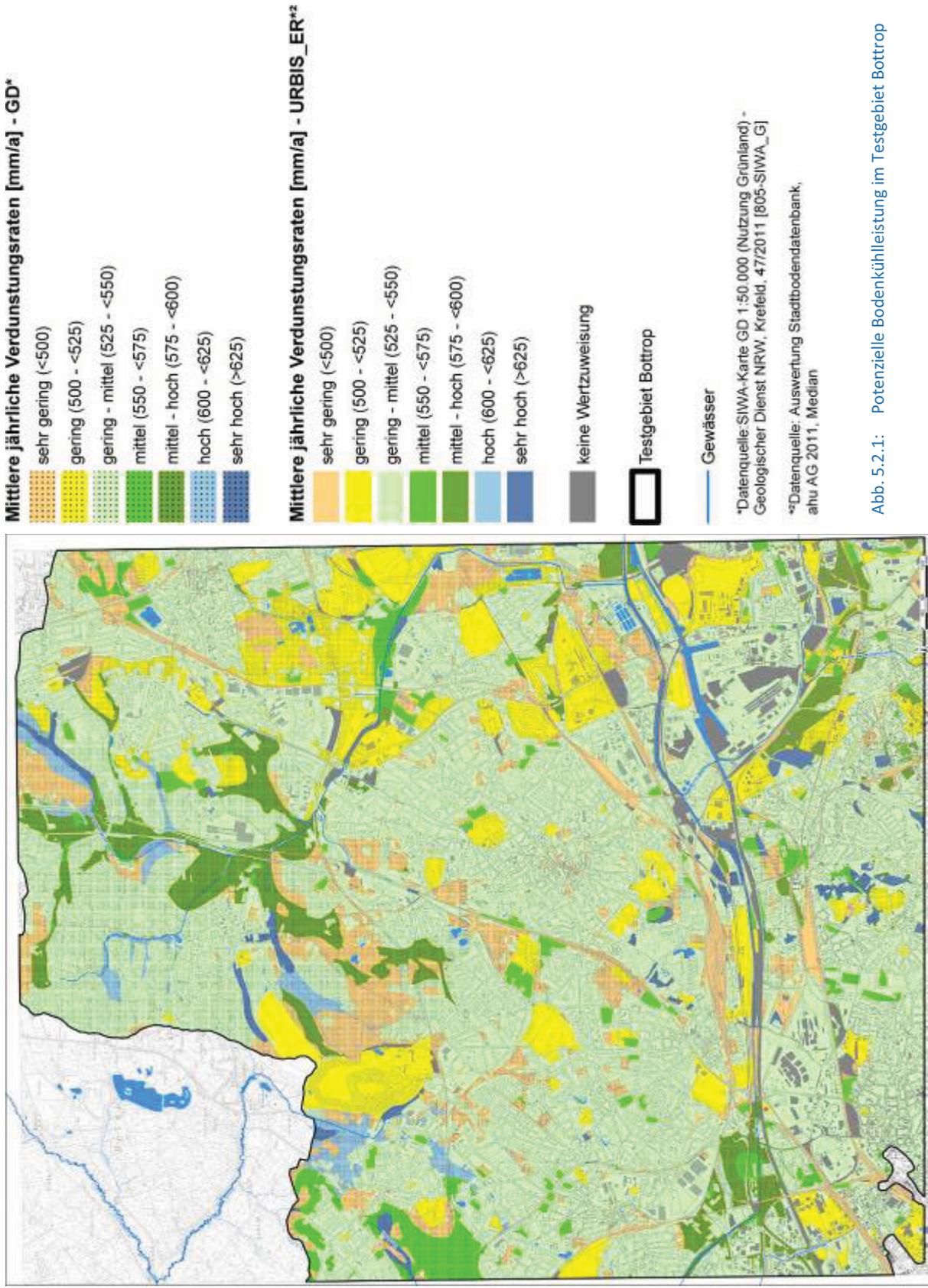


Abb. 5.2.1: Potenzielle Bodenkühlleistung im Testgebiet Bottrop

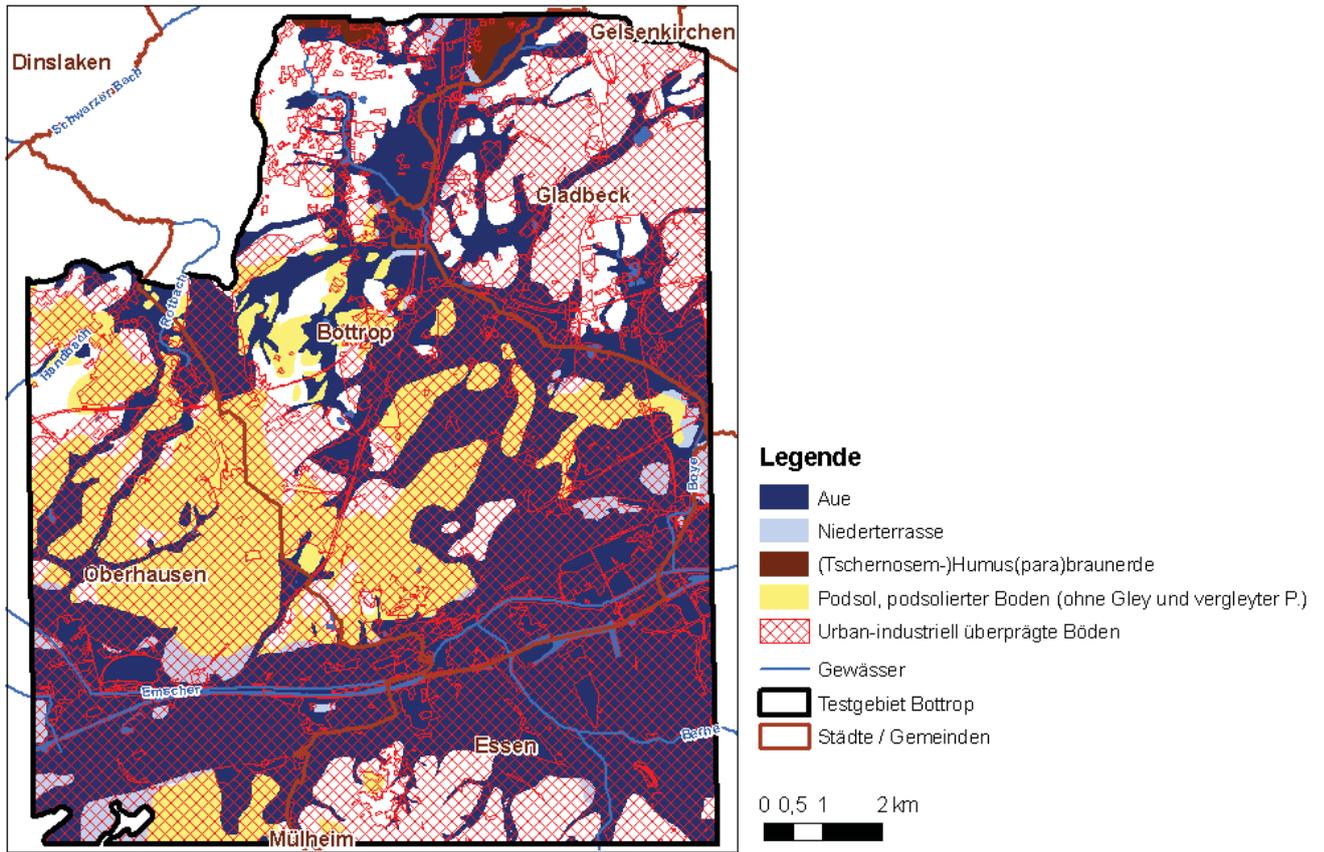


Abb. 5.2.2: Urban-industriell überprägte, ehemalige Landschaftseinheiten und Bodentypen im Testgebiet Bottrop (Quelle: ahu AG / EmscherGenossenschaft (2012))

Die Abbildung 5.2.2 zeigt in dunkelblau die Verbreitung der ehemaligen Flussauen der Emscher, Boye, Berne und des Rotbachs sowie kleinerer Nebengewässer im Testgebiet Bottrop. Unter der Aue wird die vom wechselnden Hoch- und Niedrigwasser geprägte Niederung entlang eines Baches oder Flusses verstanden. In den Auen waren früher überwiegend kühlleistungsstarke Böden zu finden (Gleye und deren diverse Übergangsformen zu anderen Bodentypen, Moore und Anmoore und zum Teil auch schluffig/lehmmige Auenböden entlang der Emscher und Berne). Diese Böden sind heute überwiegend mächtig mit diversen Substraten überschüttet, damit eine hochwassersichere Besiedlung dieses Landschaftsraumes erfolgen konnte. Zum Teil erfolgte die Auffüllung von feuchten Senken auch zur Eindämmung von Seuchen und Krankheiten (z.B. Malaria).

Durch die Überdeckung, aber auch durch Grundwasserabsenkungen ging die ehemals hohe Kühlleistung der Böden verloren. Das dunkelblaue Gebiet in der Abbildung 5.2.2 darf aber nicht mit ehemals kühlleistungsstarken Böden gleichgesetzt werden. Es können in den Auen auch z.B. Podsolböden auf Dünen aus Mittelsanden oder kiesreiche Böden auftreten, deren potenzielle Kühlleistung, wenn die Vegetation den Grundwasseranschluss verliert, gering wird.

Im Testgebiet Roßbach erbringen die Böden trotz der ähnlichen anthropogenen Überprägung wie im Testgebiet Bottrop noch Bodenkühlleistungen im mittleren Bereich (vgl. Karte 5.2.3). Sehr geringe Bodenkühlleistungen zeigen hier nur die Bahnflächen. Hier kommt die hohe nutzbare Feldkapazität des schluffigen Bodenmaterials zum Tragen, welches mit den technogenen Substraten gemischt wurde. Hinzu kommt, dass einige der Böden noch oder wieder einen Grundwasseranschluss haben.

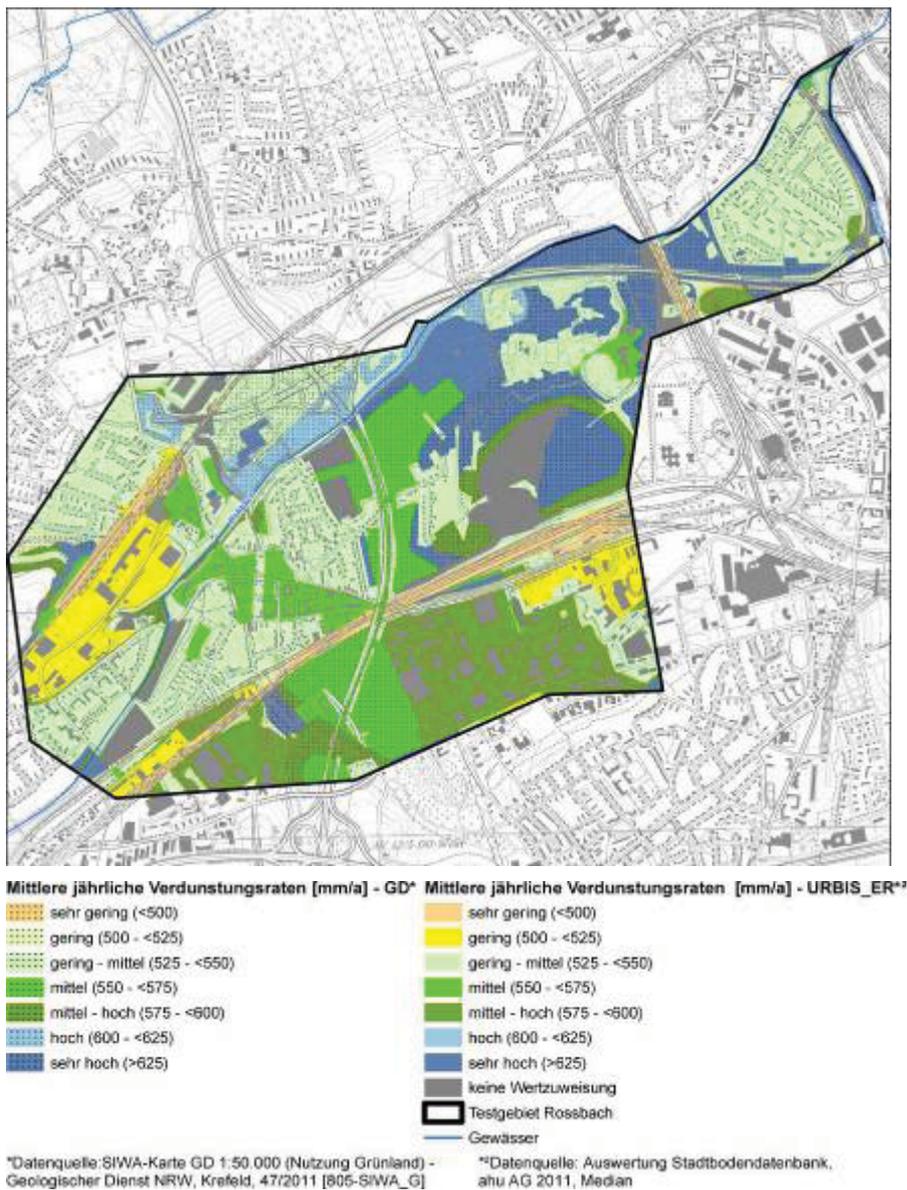


Abb. 5.2.3: Potenzielle Bodenkühlleistung im Testgebiet Roßbach

Im Rahmen des EU-Projekts URBAN SMS (Urban Soil Management Strategies) wurde die potenzielle Kühlungsleistung einer Parabraunerde der Kühlungsleistung einer versiegelten Fläche gegenübergestellt und monetarisiert (Höke et al. 2011b). Annahmen für die Berechnungen waren:

- Im Raum Stuttgart verdunsteten rund 4.800 m³ Wasser pro Jahr aus einem Hektar Parabraunerde (überwiegend mittels Pflanzen).
- Vollständig versiegelte Flächen weisen in der Jahresbilanz im Raum Stuttgart Verdunstungshöhen von etwa 119 mm auf (vgl. oben).
- Die Verdunstung entzieht pro m³ verdunstendes Wasser der Umgebung eine Energiemenge von rund 2.500 MJ (Megajoule) (Harlaß 2008).

Zur Verdunstung von 4.800 m³ werden dann rund 12.075 GJ (Gigajoule) benötigt. Zur Verdunstung des Niederschlagswassers von der versiegelte Fläche dagegen nur 2.975 GJ.

Daraus folgt:

Wird 1 ha Parabraunerde versiegelt, reduziert sich die für Verdunstung verwendete Energiemenge um 9.100 GJ pro ha und Jahr. 9.100 GJ entsprechen 2.527.777 kWh.

Bei einem Preis von 0,2 € pro kWh errechnet sich daraus eine Ökosystemdienstleistung des Bodens mit einem Äquivalentwert von 505.500 € pro ha und Jahr. Diese potenzielle Kühlleistung wird vom System Boden – Pflanze nachhaltig zur Verfügung gestellt.

Viele größere Städte leiden bereits heute unter einer Überwärmung ihrer Innenstädte. Da die Klimaprojektionen von einem Temperaturanstieg gerade in den Sommermonaten ausgehen, wird sich dieser Effekt zukünftig voraussichtlich noch weiter verstärken, sofern nicht gegengesteuert wird.

Durch die weiterhin deutlich zunehmende Versiegelung und die weiterhin ablaufende anthropogene Überprägung der verbleibenden Bodenflächen (Stichworte Bodenverdichtung, Humusverarmung, Bodenumlagerungen) sinkt die potenzielle Bodenkühlleistung zurzeit im Emscherraum noch weiter ab.

In städtischen Ökosystemen ist eine hohe Sickerwasserratenbildung nicht überall erwünscht, da die Böden häufiger Schadstoffe enthalten und diese nicht ins Grundwasser gelangen sollen. Durch den Klimawandel wird die Grundwasserneubildungsrate voraussichtlich steigen. In der Emscher-Lippe Region kommt noch hinzu, dass viele dicht besiedelte Bereiche abflusslose Polder sind und das entstehende Grundwasser abgepumpt werden muss.

Kann das Niederschlagswasser zu größeren Anteilen im städtischen Raum in entsprechend geeigneten oder auch speziell dafür aufgebauten Böden (gezielte Bodenverbesserung) zwischengespeichert und mittels Pflanzen verdunstet werden, würden drei Probleme gemindert:

- die innerstädtische Überhitzung,
- die Schadstoffverlagerung in das Grundwasser und
- steigende Grundwasserstände.

5.2.1 Aktuelle Berücksichtigung und Umsetzung der *dynaklim*-Ergebnisse zu den Kühleigenschaften der Stadtböden im Bezug zum Klimawandel

Um einen ersten Ansatz zur besseren Berücksichtigung der potenziellen Kühlleistung der Böden zu leisten, wurde im Rahmen dieses Projektes eine BSC-Arbeit initiiert und mit dem Ziel betreut, im städtischen Planungsmaßstab 1 : 1.000 bis 1 : 5.000 die Kühlleistung von Böden zu erfassen und mögliche Optimierungsmaßnahmen aufzuzeigen.

Zur Entwicklung der Vorgehensweise wurden drei Untersuchungsgebiete mit unterschiedlicher Nutzung (Wohngebiet, Parkanlage und Feld) von der Stadt Bottrop vorgeschlagen. Anhand dieser Beispiele werden die Unterschiede in der Bodenkühlleistung zwischen Ist-Zustand und dem Plan-Zustand nach einer Bebauung sowie zwischen den naturnahen und den anthropogen überprägten Böden aufgezeigt.

Der Bebauungsplan für das „neue“ Wohngebiet „Jörgensmannwiese“ von rund 31.000 m² Größe umfasst eine große eingemuldete Brachfläche mit Gleyplaggeneschen und Braunerdegleyen sowie Plaggeneschen. Diese Böden weisen im Untersuchungsgebiet mit einer mittleren jährlichen Verdunstung von 650 mm eine optimale potenzielle Bodenkühlleistung auf. Die geplante Brachfläche liegt inmitten einer bereits bestehenden dichten Bebauung.

Die Planungen der Stadt Bottrop wurden anhand der Ergebnisse zum Verlust der potenziellen Bodenkühlleistungen noch einmal angepasst. Die Fläche des geplanten Wohngebiets wurde um 75 % reduziert und die kühlleistungstarken Böden erhalten.

Ein Vergleich von Sommermonaten mit durchschnittlichen und geringen Niederschlagsmengen zeigt zudem die große Relevanz der Bodenkühlleistung während sommerlicher Trockenperioden.

Die Klimaprojektionen mit dem regionalen Klimamodel CLM für das Klimaszenario A1B zeigen im Untersuchungsraum eine Abnahme der Sommerniederschläge, wenn auch erst in ferner Zukunft 2071 bis 2100)⁴ und eine weitere Zunahme der sommerlichen Durchschnittstemperaturen (vgl. Quirnbach et al. 2012a). Daher ist die Berücksichtigung der potenziellen Bodenkühlleistungen in Planungsprozessen ein wesentlicher Schlüsselfaktor zur nachhaltigen Anpassung an den Klimawandel.

Die entwickelte Methode ist auch dazu geeignet, das Potenzial möglicher Bodenoptimierungen abzuschätzen. Die Ergebnisse zeigen, dass auch durch eine qualitative Verbesserung und gezielte Nutzung der Bodenwasserspeicher die Kühlleistung der Böden in der Stadt erhöht und damit die städtische Überwärmung reduziert werden kann. Die Ergebnisse der BSC-Arbeit sind ausführlicher dargestellt in Damm et al. (2012).

5.3 Versickerungseignung der Böden

Zur Entlastung der Kanalisation und der Oberflächengewässer ist es zunehmend ein wirtschaftliches und ökologisches Ziel, das Niederschlagswasser in den natürlichen Wasserkreislauf rückzuführen. Dabei sind Boden- und Grundwasserschutz zu berücksichtigen.

Nach der ATV-A138 (1999) sind dafür hydraulisch gering belastete dezentrale Versickerungsanlagen mit Oberbodenpassage zu wählen. Diese Forderung beruht auf der Tatsache, dass ein ca. 30 cm mächtiger Oberboden i.d.R. das entscheidende Rückhaltevermögen gegenüber Stoffen in das Grundwasser besitzt. Nur wenn nachweislich nicht genügend Grundfläche für solche Versickerungsanlagen zur Verfügung steht, kann von diesem Grundsatz abgewichen werden. Eine Versickerung ohne Oberbodenpassage in Schächten, Rohren oder Rigolen sollte nur in begründeten Ausnahmefällen gewählt werden (ATV-A138 1999).

Ziel der Bodenbewertung ist es daher, Böden zu erkennen, die physikalisch zur dezentralen Regenwasserversickerung geeignet sind, ausreichende Filter- und Pufferfunktionen zeigen, kein schädliches Stofffreisetzungspotenzial aufweisen und mit Nutzungen versehen sind, die kein Schadstoffemissionspotenzial enthalten. Hinweise zum Schadstoffemissionspotenzial durch aktuelle Nutzungen liefert die ATV-A 138 (1999).

Die Abbildungen 5.3.1 und 5.3.2 zeigen die Suchräume in den Testgebieten Bottrop und Rossbach, in denen die Böden für eine dezentrale Niederschlagswasserversickerung geeignet, bedingt geeignet oder ungeeignet sind. Da in den Karten im vorliegenden Maßstab nur die mittleren Eigenschaften der Bodenraumeinheiten dargestellt werden können, müssen für konkrete Versickerungsplanungen immer die bodenkundlichen Eigenschaften vor Ort im Versickerungsbereich erfasst werden.

Grundlage der Bewertung der Böden ist die ‚physikalische‘ Eignung der Böden zur Regenwasserversickerung. Dabei erfolgt eine Anlehnung an die Bewertungsstufen des Geologischen Dienstes NRW (vgl. Tab. 5.3.1). Diese stellt eine Annäherung zwischen den Einstufungen der Bauingenieure (Arbeitsblatt A 138 der ATV, Abwassertechnische Vereinigung 1990) und denen der Bodenwissenschaftler dar.

⁴ Die Modelldaten für die nahe Zukunft zeigen die Abnahme der Sommerniederschläge nicht. Sie weisen damit ein anderes Verhalten auf, als dies bereits die Messdaten tun. In den Messdaten gehen, im Vergleich der Zeiträume 1979 bis 2008 gegenüber 1950 bis 1979, die Monatsniederschlagssummen in den Sommermonaten Juli und August leicht zurück.

Die bodenkundliche Grenze zwischen mittlerer Wasserdurchlässigkeit ($10 - 40 \text{ cm d}^{-1}$) und hoher Wasserdurchlässigkeit ($40 - 100 \text{ cm d}^{-1}$) liegt bei 40 cm d^{-1} . Der Bemessungswert des Arbeitsblattes A 138 geht dagegen von „mindestens $2 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ ($= 173 \text{ cm d}^{-1}$) für eine mögliche Flächenversickerung aus.

Die Wertebereiche des Arbeitsblattes A138 sind nicht für die Lagerungsverhältnisse von Böden bis maximal 2 m Tiefe, wie sie hier bewertet werden, abgeleitet worden. Sie wurden für den tieferen Untergrund erarbeitet. Der bodenkundlich erfasste Raum ist durch Gefügebildungen in den Böden geprägt, die einen starken Einfluss auf die tatsächlichen Wasserleitfähigkeiten haben. Würden die Wasserleitfähigkeiten der Böden rein bodenkundlich bewertet, würden weitaus größere Bodenflächen im Untersuchungsraum hinsichtlich ihrer Eignung für die dezentrale Niederschlagswasserversickerung als geeignet ausgewiesen.

Der GD berücksichtigt weiter die Lockergesteinsmächtigkeit sowie die Grundwasser- und Staunäseeinflüsse. Staunässe Böden bergen, auch wenn sie bei nicht zu bindigen Substraten scheinbar akzeptable Wasserdurchlässigkeiten aufweisen, ein zu großes Risiko für die Einrichtung langfristig und witterungsunabhängig arbeitender Versickerungsanlagen. Sie sind daher entweder aus der Planung auszuschließen oder mit größerem Flächenanteil und geeigneter Vegetationsdecke einzubeziehen (Geologischer Dienst NRW 2011). In der Abbildung 5.3.1 und 5.3.2 entspricht die Bewertung der naturnahen Böden der Bewertung in der Bodenkarte 1 : 50.000 des Geologischen Dienstes.



Bodenphysikalische Eignung der Böden (bis max. 1 m Tiefe) zur Regenwasserversickerung - URBIS_ER*

- geeignet
- bedingt geeignet
- nicht geeignet
- keine Wertzuweisung

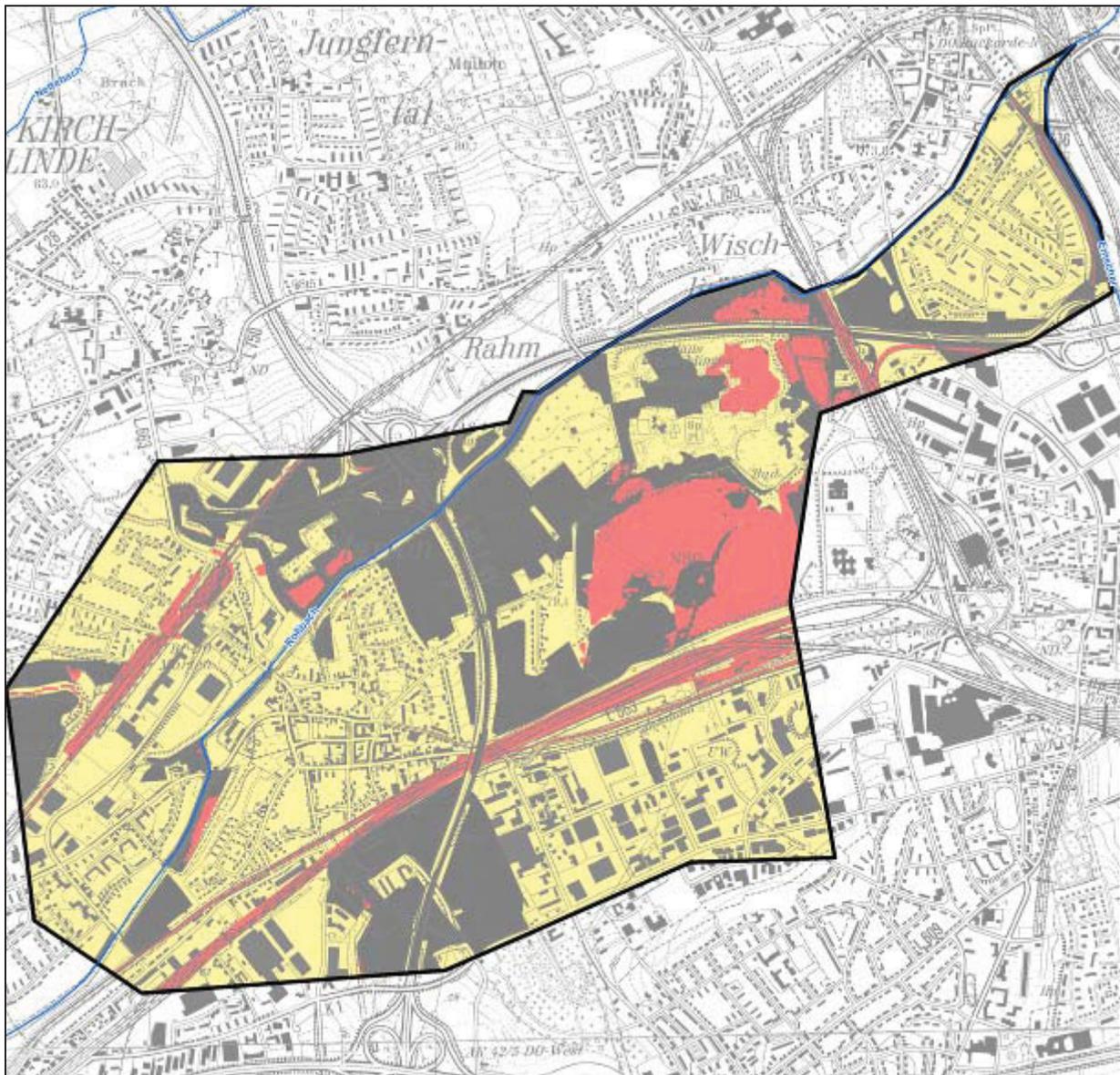
Testgebiet Bottrop

— Gewässer

*Datenquelle: Auswertung Stadtbodendatenbank, stw AG 2011, Bewertungsmatrix M- und LK-Werten

Restriktionen aufgrund stofflicher Belastung nicht berücksichtigt

Abb. 5.3.1: Bodenphysikalische Eignung der Böden zur Regenwasserversickerung im Testgebiet Bottrop



**Bodenphysikalische Eignung der Böden (bis max. 1 m Tiefe)
zur Regenwasserversickerung - URBIS_ER***

- bedingt geeignet
- nicht geeignet
- keine Wertzuweisung
- Testgebiet Rossbach
- Gewässer

*Datenquelle: Auswertung Stadtbodendatenbank, ahu AG 2011, Bewertungsmatrix kf- und LK-Werten

Restriktionen aufgrund stofflicher Belastung nicht berücksichtigt

Abb. 5.3.2: Bodenphysikalische Eignung der Böden zur Regenwasserversickerung im Testgebiet Roßbach

Abweichend zum Vorgehen des Geologischen Dienstes NRW (2011) wird aber für die urban und industriell überprägten Böden nicht die mittlere gesättigte Wasserleitfähigkeit [kf-Werte] im 2-m-Raum angesetzt, sondern die gesättigte Wasserleitfähigkeit des am langsamsten wasserleitenden Horizonts innerhalb des ersten Meters. Für die oft sprunghaft wechselnden gesättigten Wasserleitfä-

higkeiten der urbanen Böden ist die Bildung von Mittelwerten fachlich nicht geeignet. Durch die Verwendung des Ansatzes des Horizontes mit der geringsten gesättigten Wasserleitfähigkeit im obersten Meter werden zugleich die Stauwasserböden in der Bewertung mit erfasst.

Tab.5.3.1: Klasseneinteilung, Bewertung und Beschreibung von Böden zur Eignung für eine dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser (Quelle: GD 2011)

Klasse [cm/d]	Bewertung	Beschreibung
über 86	geeignet	Wasserleitfähigkeit: $> 1 \cdot 10^{-5}$ m/s (> 86 cm/d) Staunässe: ohne
über 86 und schwach staunass	bedingt geeignet	Wasserleitfähigkeit: $> 1 \cdot 10^{-5}$ m/s (> 86 cm/d) Staunässe: schwach
43 – 86	bedingt geeignet	Wasserleitfähigkeit: $1 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s (86 – 43 cm/d) Staunässe: ohne
43 – 86 und schwach staunass	ungeeignet	Wasserleitfähigkeit: $1 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s (86 – 43 cm/d) Staunässe: schwach
unter 43	ungeeignet	Wasserleitfähigkeit: $< 5 \cdot 10^{-6}$ m/s (unter 43 cm/d) Staunässe: ohne
zu flach	ungeeignet	Lockergestein: unter 1 m mächtig
grundnass	ungeeignet	Grundwasserflurabstand: unter 1 m
staunass	ungeeignet	Staunässe: mittel, stark oder sehr stark

Anstatt der Lockergesteinsmächtigkeit und der Staunässestufe geht in die Bewertung für die urbanen Böden in Anlehnung an Walter et al. (1999) die Luftkapazität (Porenraum, der bei Feldkapazität mit Luft erfüllt ist) ein. Dieser Anteil der Poren mit $> 50 \mu\text{m}$ Durchmesser („weite Grobporen“) ist ein Maß für die Speicherkapazität von Niederschlags-, Grund- oder Stauwasser und bedingt die Amplitude und Geschwindigkeit der Wasserstandsänderung im Witterungsverlauf (Ad-hoc-AG Boden 2005). Die Luftkapazität wird in den Profilen bis zur oberen Grenze der Sd- bzw. Gr-Horizonte berechnet.

Zur Einstufung der Niederschlagswasserversickerung wird für die urbanen Böden in Anlehnung an Walter et al. (1999) ein Wasserdurchlässigkeit/Luftkapazität-Ökogramm verwendet (vgl. Abb. 5.3.3). Als maximales Wasseraufnahmevermögen wird die Luftkapazität des Bodens angesetzt. Die tatsächliche Wasserspeicherkapazität für Niederschläge liegt im Regelfall höher, da auch Speichervolumen des Porenraumes der Feldkapazität mit zur Verfügung steht. Da jedoch mit einer Vorsättigung des Bodens gerade im Winterhalbjahr gerechnet werden muss, wird dieser Porenanteil nicht berücksichtigt (Walter et al. 1999). Die Einstufung der Böden nach Abbildung 5.3.3 wird im Folgenden als physikalische Bodeneignung zur Niederschlagswasserversickerung bezeichnet. Die Zahlen in den einzelnen Feldern der Abbildung 5.3.3 geben die Anzahl der einzelnen Profile wieder. Sehr geringe Luftkapazitäten treten im vorliegenden Datensatz nicht auf.

Durch alle Arten von Bodenverdichtungen nehmen vor allem die schnell dränenden „weiten Grobporen“ ab und der Anteil an Mittel- und Feinporen zu. Alle Versickerungsflächen sollten daher vor Bodenverdichtung geschützt werden.

Die Wasserdurchlässigkeit gestörter Böden kann für einige Standorte im urbanen Raum nicht (halb)automatisiert abgeleitet werden, sondern erfordert eine gutachterliche Einordnung. Doch auch wo die Werte im Prinzip korrekt abgeleitet werden, können sich bei oberflächlicher Betrachtung falsche Einschätzungen ergeben.

Wasserdurchlässigkeit [cm d ⁻¹] [Klasse]	Luftkapazität [l m ⁻²] auf ein Meter bezogen				
	>= 200 A	150 - < 200 B	100 - < 150 C	50 - < 100 D	< 50 E
> 86 (1)	2	10	8	2	
43 - < 86 (2)	2	4	6	1	
8,64 - < 43 (3)	23	17	5	1	
< 8,64 (4)	7	7	6		

Böden physikalisch für die dezentrale Regenwasserversickerung:

- geeignet
- bedingt geeignet
- nicht geeignet

Abb. 5.3.3: Wasserdurchlässigkeit/Luftkapazität Ökogramm zur Ermittlung der Eignung eines Standortes zur Niederschlagsversickerung (Quelle: Walter et al. 1999, modifiziert)

Folgendes Beispiel verdeutlicht dieses:

So sind z.B. in das Feld E1 in der Abbildung 5.3.3. Profile einzuordnen, die von einer Quarzitabraumhalde stammten und die sehr viel Niederschlagswasser in sehr kurzer Zeit versickern können. Die geringe Luftkapazität ist hier allein durch die sehr groben Blöcke und die hohen Skeletthalte bedingt. Das versickerte Wasser gelangt in kurzer Zeit durch Klüfte weitgehend ungefiltert an den Fuß der Halden und hier stellt sich dann tatsächlich erst die Frage, ob dieses Wasser noch zusätzlich von den Böden aufgenommen werden kann.

Dieses Beispiel zeigt, dass eine isolierte Standortbewertung einzelner Profile in Bezug auf Wasserhaushaltsfragen betrachtet immer nur eine begrenzte Aussagekraft besitzen kann.

Die Wasserdurchlässigkeitsklassen 1 und 2 in der Abbildung 5.3.3 beinhalten Böden, die in der Regel problemlos in der Lage sind, sogenannte Starkregen (10 mm h⁻¹) zu infiltrieren. In Mitteleuropa treten auch Gewitterregen mit 30 mm Niederschlag in 30 Minuten auf. Um solche Niederschlagsmengen sofort direkt aufzunehmen, muss ein Boden eine Wasserleitfähigkeit von 144 cm d⁻¹ aufweisen.

Die physikalisch zur Regenwasserversickerung geeigneten Böden müssen gemäß der Tabelle 5.3.2 mit Hangneigungen verschnitten werden. Das ist in den Abbildung 5.3.1 und 5.3.2 noch nicht erfolgt.

Tab. 5.3.2: Ermittlung geeigneter Standorte zur dezentralen Regenwasserversickerung (Quelle: Walter et al. 1999)

Auswählte Böden physikalisch zur dezentralen Regenwasserversickerung geeignet nach Kriterium	Hangneigung* [%]	Standortbewertung zur dezentralen Regenwasserversickerung
Wasserdurchlässigkeit/Luftkapazität Ökogramm	< 10	geeignet
	10 <= 30	ungeeignet bei Hangrutschungsgefahr
	> 30	ungeeignet

Folgende Flächen sind darüber hinaus nach Walter et al. (1999, ergänzt durch GD NRW) als nicht für eine Versickerung geeignet auszuweisen:

1. Wasserschutzzonen I und II
2. Überschwemmungsgebiete
3. Naturschutzgebiete
4. Flächen mit hohem Grundwasserstand ($\leq 0,5$ m unter GOK nach Walter et al. 1999) (GD NRW setzt hier 1 m an.)
5. Altlasten und Altlastenverdachtsflächen

In den dargestellten Karten sind die Böden als nicht geeignet zur Versickerung ausgewiesen, deren mittlerer GW-Flurabstand oberhalb von 0,8 m liegt. Keines der in den Testgebieten untersuchten Profile weist eine Luftkapazität $< 50 \text{ l m}^{-2}$ auf 1 m Tiefe bezogen auf.

Im Emscherraum stellt sich die Frage, wie sich die räumlich weit verbreiteten neuen Bodeneinheiten hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung zur Regenwasserversickerung eignen. Dies wird im Folgenden als stoffliche Eignung zur Niederschlagswasserversickerung bezeichnet.

Häufig sind nicht nur das Schadstoffniveau in den stark überprägten Böden erhöht, sondern auch die pH-Werte sowie die Gehalte an Schadstoffbindungspartnern, wie Fe- und Mn-Oxide und Hydroxide, Humus und andere Kohlenstoffverbindungen und Karbonate. Daher können durchaus hohe Filter- und Puffer- sowie Transformationskapazitäten in den urbanen Böden auftreten, weshalb letztlich trotz erhöhter Schadstoffgehalte eine Regenwasserversickerung erlaubt ist. Die Bewertung der Filter- und Pufferkapazitäten der neuen Bodeneinheiten konnte in diesem Projekt noch nicht mit der Bewertung der physikalischen Versickerungseignung aufgenommen werden, da die zuvor notwendige Integration der speziellen Eigenschaften der urbanen Böden hinsichtlich ihrer Filter- und Pufferleistungsleistungen bisher noch nicht umgesetzt sind (Höke et al. 2009).

Es wird zukünftig zu diskutieren sein, ob die Niederschlagsversickerungsflächen strengeren stofflichen Kriterien entsprechen müssen als von der umliegenden Bodenlandschaft im Mittel ihrer Fläche erfüllt werden. Überall dort, wo keine Bodenversiegelung vorliegt, infiltrieren die Niederschläge auch durch die vorliegenden Böden. Deshalb sollten Böden, die Niederschlagswasser zusätzlich für versiegelte Areale versickern sollen, möglichst gute Filter-, Puffer- und Umbauleistungen aufweisen.

Neben den Filter- und Pufferleistungen spielt aber natürlich auch die vorliegende Schadstoffhöhe eine Rolle. Für die Oberböden kann das potenzielle Schadmateralfreisetzungsvermögen zumindest zum Teil aus den Bodenbelastungskarten Oberboden und den vorherrschenden pH-Werten abgeleitet werden. Für die Unterböden sind interessante Ansätze zur Erfassung der Schadstoffhöhen in der Bearbeitung. Auch die in diesem Projekt aufgebaute Stadtbodendatenbank kann in Zukunft hinsichtlich diverser Schad- und Nährstoffgehalte und weiterer Bodeneigenschaften ausgewertet werden.

Böden ohne technogene Beimengungen in den neuen Bodenraumeinheiten sind eher selten (vgl. Abb. 4.1). Aus diesem Grund wurde in den Abbildung zur physikalischen Eignung zur Regenwasserversickerung (Abb. 5.3.1 und 5.3.2) auf einen Hinweis als Zusatzinformation darüber, dass sich häufig ein relevanter technogener Substratanteil im Boden befindet, verzichtet.

Die hohe anthropogene Bodenüberprägung im Emscherraum legt nahe, im Hinblick auf die dezentrale Niederschlagswasserversickerung den „Wasserentsorgungsweg Verdunstung“ immer frühzeitig mit in die Planungsprozesse einzubeziehen. Dies ist so vermutlich auch auf andere Ballungsräume übertragbar.

Aktuelle Berücksichtigung und Umsetzung der *dynaklim*-Ergebnisse zur Versickerungseignung der Stadtböden und Bezug zum Klimawandel

Das Bewirtschaftungsinformationssystem Regenwasser der Emschergenossenschaft (BIS-RW-2004) mit einer Regenwasserbewirtschaftungskarte für den Emscherraum basiert auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 50.000 (BK50). Die BK50 weist im Einzugsgebiet der Emscher rund 10 % der Böden als anthropogen überprägt bzw. nicht kartiert aus. Überträgt man die Ergebnisse für die Testgebiete dieser Untersuchung wie auch die der von Berief & Pankratz (2012) (vgl. Abschn. 3.4) auf den gesamten Emscherraum, liegt der Anteil an deutlich anthropogen überprägten Bodenbereichen bei rund 70 % der Fläche des Einzugsgebiets der Emscher.

Im Fall einer geplanten Aktualisierung des BIS-RW zeigt URBIS-ER einen Weg auf, wie die Versickerungseigenschaften der heute bestehenden urbanen Bodenlandschaft mit vertretbarem Aufwand in das Informationssystem BIS-RW integriert werden können. Eine zukünftige Integration der neuen Bodenraumeinheiten in das BIS-RW ist insbesondere sinnvoll, da Klimaprojektionen mit dem regionalen Klimamodell CLM für das Klimaszenario A1B im Untersuchungsraum eine Abnahme der Sommerniederschläge (aber erst in ferner Zukunft 2071 bis 2100)⁵ und eine Zunahme der Winterniederschläge vermuten lassen. Auch ein leichter Anstieg der Jahresniederschläge im Mittel im Untersuchungsgebiet ist wahrscheinlich (vgl. Quirnbach et al. 2012a).

Da die Böden im Winterhalbjahr schon heute häufig ihre Feldkapazität erreichen, hängt es stark von der Höhe der Luftkapazität und den Wasserleitfähigkeiten der Böden ab, ob die zusätzlichen Winterniederschläge noch aufgenommen werden können und primär das Grundwasser speisen oder ob es zu verstärkten Oberflächen- und Zwischenabflüssen aufgrund gefüllter Bodenwasser(zwischen)speicher kommt.

Neben einer Erhöhung der Winterniederschläge lässt sich eine Zunahme der Starkregenereignisse (≥ 20 mm) aus dem BIAS-korrigierten regionalen Klimamodell CLM für das Klimaszenario A1B annehmen (Quirnbach et al. 2012b).

Auch die Aufnahme von Starkregen in den Boden hängt maßgeblich von der Luftkapazität und der Wasserleitfähigkeit ab. Modifizierend kommen Faktoren wie das Relief oder auch bei vegetationslosen Flächen Oberflächenverschlammungen hinzu.

Somit ermöglicht URBIS-ER in der Zukunft eine Berücksichtigung der Versickerungseigenschaften der urbanen Bodenraumeinheiten und dadurch präzisere Modellberechnungen hinsichtlich möglicher Überschwemmungen durch Starkregen oder erhöhte Winterniederschläge.

⁵ Die Modelldaten für die nahe Zukunft zeigen die Abnahme der Sommerniederschläge nicht. Sie weisen damit ein anderes Verhalten auf, als dies bereits die Messdaten tun. In den Messdaten gehen, im Vergleich der Zeiträume 1979 bis 2008 gegenüber 1950 bis 1979, die Monatsniederschlagssummen in den Sommermonaten Juli und August leicht zurück.

5.4 Eisenfreisetzungspotenzial der Böden

Eisen erweist sich bei der Grundwasserbewirtschaftung und dem Gewässerumbau im Emschergebiet als ein zu beachtendes Element. Durch sehr hohe Eisengehalte im aussickernden Grundwasser, welche beim Eintritt in Gewässer oder bspw. Drainagen oxidieren und dann einen roten Eisenschlamm bilden (Verockerung), werden vielfach die ökologischen Gewässerzielwerte verfehlt:

- $< 0,2 \text{ mg l}^{-1}$ Fe für Salmoniden-Gewässer und
- $< 0,5 \text{ mg l}^{-1}$ Fe für Cypriniden-Gewässer (Dänisches Ockergesetz 2005, aus: Christensen & Marcus 1998),
- deutliche Verockerungsprobleme treten ab 2 mg l^{-1} Fe auf (mündl. Auskunft Sommerhäuser 2011, EGLV),
- Gewässer gelten als „biologisch tot“ ab 6 mg l^{-1} Fe (mündl. Auskunft Sommerhäuser 2011, EGLV).

Die Karte ‚Eisenfreisetzungspotenzial der Böden‘ (vgl. Abb. 5.4.1) ist ein Baustein zur Erkennung der Verockerungsgefahr von Grund- und Oberflächengewässern. Neben den urbanen Böden kommen auch noch diverse Halden und Deponien sowie die Fe-reichen natürlichen Sedimente der Rhein- und Emscherterrassen als Quelle für die hohen Fe-Gehalte im Grundwasser in Betracht. Die Boye erfährt zudem noch Grubenwassereinleitungen mit höheren Eisengehalten (mündl. Auskunft Herr Messer, Lippe Wassertechnik).

Die Abbildung 5.4.1 zeigt die Risikobereiche einer hohen Eisenfreisetzung aus den Böden für den Bereich Bottrop auf. Eine hohe Wahrscheinlichkeit einer Eisenmobilität in Böden besteht überall dort, wo hohe Grundwasserstände auftreten oder stauende Schichten im Boden für hohe Wassersättigungen sorgen, so dass durch die verbleibenden geringen Sauerstoffanteile in relativ kurzer Zeit reduzierende Bedingungen entstehen können. In der Abbildung 5.4.1 sind die Gebiete mit hoch anstehendem Grundwasser gekennzeichnet. Im Untersuchungsgebiet Bottrop weisen nach dem eingesetzten Grundwassermodell rund 6,8 % der Fläche mittlere Grundwasserflurabstände kleiner 80 cm auf und 11,3 % Grundwasserflurabstände zwischen 80 bis 200 cm. Somit sind, ohne Berücksichtigung der Stauwasserböden, auf rund 20 % der Fläche bodenbürtige Fe-Freisetzungen wahrscheinlich.

Die Freisetzung von Eisen aus (urbanen) Böden ist sehr komplex, da vielfältigste Bindungsformen auftreten und die oft mikrobiell gesteuerten Redoxprozesse eine dominierende Rolle bei der Mobilisierung und Fixierung von Fe einnehmen. Fe-Lösungs- und Fällungsvorgänge sind sehr eng mit der Chemie des Sauerstoffs, Schwefels und Kohlenstoffs verbunden. Urbane Böden enthalten dabei häufig sowohl Schwefel als auch organischen Kohlenstoff in vielfältigen (Bindungs-)Formen und Anteilen sowie in unterschiedlicher Verteilung. Aus diesen Gründen liegt gerade in urbanen Böden insgesamt ein sehr komplexes System vor (vgl. Höke et al. 2011). Da in diesem Projekt die TOC-Anteile in den neuen Bodenraumeinheiten nicht mit ausgewertet werden konnten, aber bekannt ist, dass viele der Böden hohe Anteile an TOC auch im Unterboden und Untergrund ausweisen, verbleiben hier noch offene Fragen.

Zur Fe-Freisetzung kann es z.B. bei:

- Grundwasserabsenkungen kommen, wenn Fe-Sulfide aus Schlämmen unter Sauerstoffeinfluss gelangen und zu Sulfat aufoxidiert werden. Ähnlich erfolgt auch die Fe-Freisetzung aus dem Bergematerial;
- Grundwasseranstieg kommen, wenn Fe-reiche Schlämme oder Aschen dadurch in ein reduzierendes Milieu geraten.

In der Literatur wurden noch folgende Hinweise zum Thema gefunden:

- Hermann (1997) beschreibt Fe-reiches Sickerwasser aus einer Müll-Bauschuttablagerung über stauendem rAh-Horizont mit zahlreichen Rostflecken über dem Sd-Horizont eines Pseudogleys.
- Mansfeld (2001) beschreibt Fe-reiches Sickerwasser in Gichtgasschlämmen.
- Hiller (1996) beschreibt für Ascheschichten Fe-Ausfällungen unterhalb der Aschelagen, z.T. so ausgeprägt, dass es zu Verkittungen durch die Fe-Ausfällungen kommt.

Möglicherweise verbliebene raseneisenerzhaltige Go-Horizonte in den noch naturnahen Böden (vgl. Kap. 4.1) sind in der Abbildung 5.4.1 nicht mit erfasst. Zur Ausbildung der raseneisenerzhaltigen Bodenhorizonte ist es in Teilen des Emscherraums durch eine Fe-Auswaschung, zumeist in Form von metallorganischen Komplexen, vor allem aus Podsolböden gekommen. Podsole waren früher im Westen des Emscherraums weitverbreitet. Das gelöste Eisen ist mit dem Niederschlagswasser in den Unterboden und mit dem Zwischenabfluss oder dem Grundwasser dann weiter in die Senken transportiert worden. Dort ist das Eisen durch verschiedene Prozesse stellenweise in den Böden angereichert worden und hat den sogenannten Raseneisenstein gebildet (vgl. z.B. Wichmann 2000, Scheffer & Schachtschabel 2002).

Die Abbildung 5.4.1 dient auch als Beispielkarte für das Freisetzungspotenzial von Schadstoffen, die sich ähnlich wie das Schwermetall Eisen verhalten.

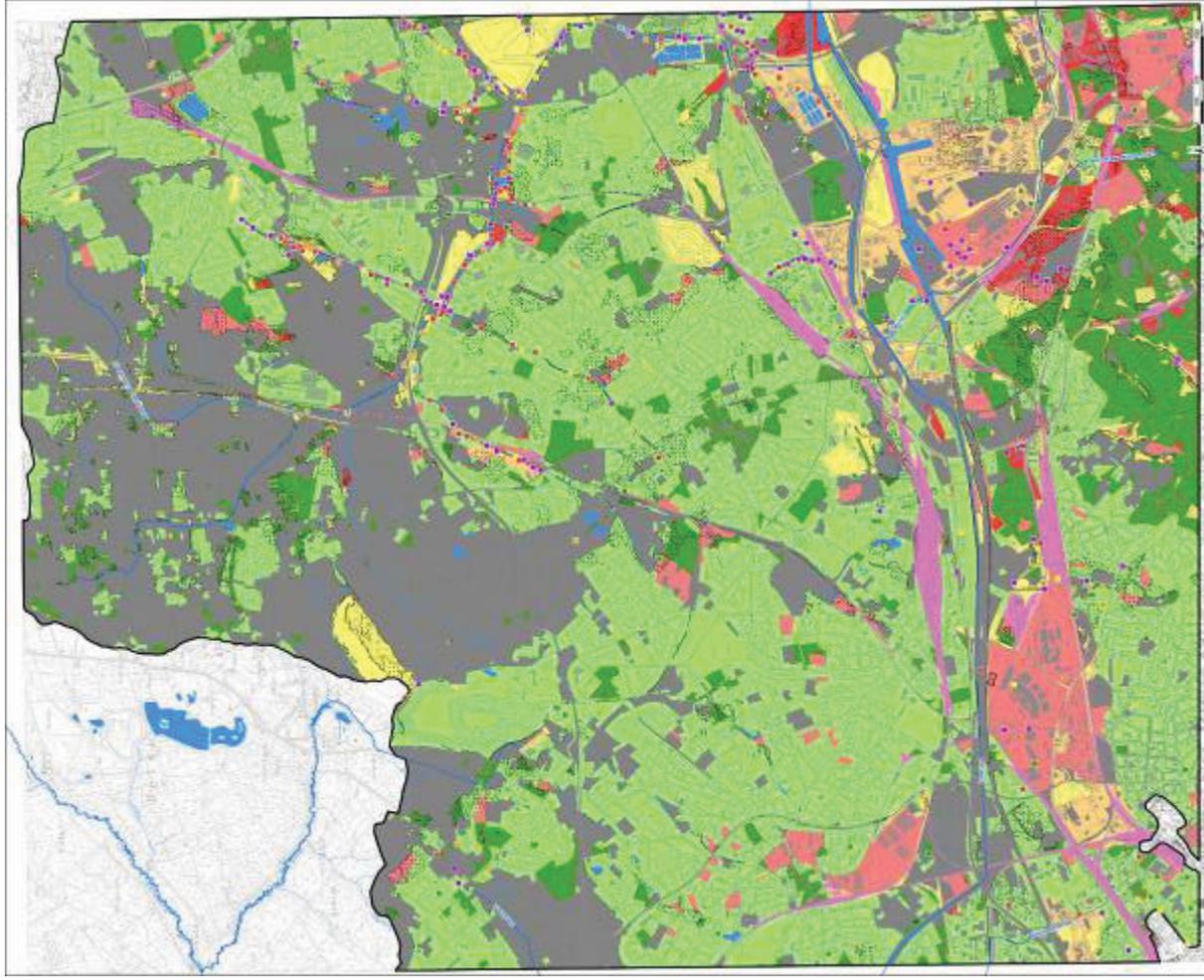
Zum tatsächlichen Fe-Austrag aus urbanen Böden ins Grundwasser ist aber noch wenig bekannt, da Eisen in der Regel nicht zu den potenziellen Gefahrenstoffen gezählt wird. Eisen wird zwar häufiger in der Analytik mit gemessen, die Daten werden aber dann oft nicht mit veröffentlicht.

Die Abbildung 5.4.1 zeigt die Messstellen der EG für Eisen im Grundwasser, Oberflächenwasser und Sickerwasser. In der Abbildung sind in Klassen die Fe_t-Mittelwerte an den Messstandorten angegeben. An den verschiedenen Messstandorten liegt eine unterschiedliche Anzahl an Messungen vor. Insgesamt ergibt sich ein sehr heterogenes Bild. Von den 1592 Fe_t-Einzelmesswerten, die für das Grundwasser im Untersuchungsraum Bottrop vorliegen, überschreiten mehr als 40 % der Werte 2 mg l⁻¹ Fe (vgl. Tab. 5.4.1). Das ist der Wert, ab dem ernsthafte Verockerungsprobleme in den Oberflächengewässern zu erwarten sind. Rund 22 % der Messwerte überschreiten auch den Wert von 6 mg l⁻¹ (vgl. Tab. 5.4.1). Für den Roßbach liegen nur 22 Messwerte vor. Auf eine Auswertung der Werte wurde daher in diesem Untersuchungsgebiet verzichtet.

Tab. 5.4.1: Einstufung Fe_t-Gehalte im Grundwasser in mg l⁻¹ in Bottrop

Klasse	Häufigkeit
0 - ≤ 0,2	311
0,2 - ≤ 0,5	158
0,5 - ≤ 2	465
2 - ≤ 6	312
6 - ≤ 10	111
10 - ≤ 15	83
> 15	152

(Datenquelle: Emschergenossenschaft Stand Nov. 2011)



Eisen [mg/l Grundwasser] - Mittelwert

- 0.0 - 0.2
- >0.2 - 0.5
- >0.5 - 2.0
- >2.0 - 6.0
- >6.0

Eisen [mg/l Oberflächenwasser] - Mittelwert

- 0.0 - 0.2
- >0.2 - 0.5
- >0.5 - 2.0
- >2.0 - 6.0
- >6.0

Eisen [mg/l Sickerwasser] - Mittelwert

- 0.0 - 0.2
- >0.2 - 0.5
- >0.5 - 2.0
- >2.0 - 6.0
- >6.0

Gewässer

Testgebiet Bottrop

Grundwasserflurabstand

- sehr gering
- gering

Eisen [kg/m³ 1 m Tiefe Böden] - URBIS_ER*

- 20 - 25
- >25 - 30
- >30 - 35
- >35 - 40
- >40 - 45
- >45 - 50
- >50 - 100

keine Wertzuweisung

Datenquelle: Auswertung Stadtbohrdatenbank, Jhu AG 2011, Medlan

Abb. 5.4.1: Fe-Mengen in den Böden sowie Fe-Mittelwerte in Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser im Testgebiet Bottrop

In der Tabelle 5.4.2 sind die mittleren Fe-Gehalte im Grundwasser im Modellgebiet ‚Bottrop‘ in Abhängigkeit von der Tiefe der Messstelle unter GOK dargestellt. Zunächst nehmen die mittleren Fe-Gehalte mit zunehmender Tiefe ab. Dies deutet auf einen Einfluss der oberen Materialablagerungen und Sauerstoffeintrag im Grundwasserschwankungsbereich hin. Leider liegen keine Messstellen mit Verfilterung im eigentlichen Bodenbereich vor. Es erfolgt eine deutliche Gehaltsabnahme unterhalb von 20 m. Die Messstellen unterhalb von 40 m zeigen dann wiederum die höchsten mittleren Fe-Gehalte. Die Grundwasserchemie wird hier weitgehend durch den Emschermergel bestimmt.

Tab. 5.4.2: Fe im Grundwasser in Abhängigkeit der Tiefe unter GOK [mg l^{-1}] im Modellgebiet ‚Bottrop‘

Tiefe u. GOK [m]	Mittelwert [mg l^{-1}]	Analysen [n]
2,5 – 10	11,2	184
10 – 20	10,5	324
20 – 30	4,9	71
30 – 40	3,6	71
> 40	14,7	45

(Datenquelle: Emschergenossenschaft Nov. 2011)

Ein Vergleich der Werte der Tabelle 5.4.2 mit Literaturangaben deutet auf erhöhte Fe-Gehalte im Grundwasser aus den anthropogenen Böden und Sedimenten in den oberen 20 m hin. Schleyer & Kerndorff (1992) geben als Orientierungswerte für den geogenen Normalbereich für Lockersedimente Fe-Gehalte von $< 0,02\text{--}3 \text{ mg l}^{-1}$ im Grundwasserraum an. Sie sehen den Beginn einer anthropogenen Beeinflussung ab etwa 8 mg l^{-1} . Nach Merkel & Sperling (1996) treten in reduzierten Grundwässern im üblichen pH-Bereich zwischen 5-9 häufig Konzentrationen zwischen 1 und $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ Fe}^{2+}$ auf, während in sauerstoffhaltigen Grundwässern nur Spuren vorhanden sind.

Tab. 5.4.3: Monatsmittel der Fe-Gehalte des Grundwassers im Modellgebiet ‚Bottrop‘ für den Bereich von 2,5 bis 10 m u. GOK [mg l^{-1}]

Monat	Fe-Mittelwerte [mg l^{-1}]	Anzahl [n]
Jan.	15,8	8
Feb.	2,9	11
März	10,1	27
April	12,5	20
Mai	30,0	18
Juni	6,5	29
Juli	8,2	7
Aug.	13,5	13
Sep.	16,4	13
Okt.	13,7	7
Nov.	11,7	16
Dez.	5,8	15

(Datenquelle: Emschergenossenschaft Stand Nov. 2011)

Aktuelle Berücksichtigung und Umsetzung der *dynaklim*-Ergebnisse zum Eisenfreisetzungspotenzial der Stadtböden und Bezug zum Klimawandel

Die Erkenntnisse über das Eisenfreisetzungspotenzial der Böden, und hier insbesondere der Stadtböden, sind ein weiterer Wissensbaustein über die möglichen Quellen, die eine Verockerung von Grund- und Oberflächengewässern bedingen können.

Die Schwankung der Fe-Gehalte im Grundwasser in Abhängigkeit von den auf den Boden wirkenden und jahreszeitlich geprägten Temperatur-, Niederschlags-, Versickerungs- und Verdunstungsverhältnissen deutet an, dass ein Einfluss auf die Fe-Gehalte im oberen Grundwasserbereich **aus den Böden** gegeben ist (vgl. Tab. 5.4.3).

Hinsichtlich der Fe-Freisetzung in das Grund- und Oberflächenwasser sind alle naturnahen sowie urbanen grund- und stauwasserbeeinflussten Böden (Auenböden, Gleye, Pseudogleye) sowie von den terrestrischen Böden die Bergematerialböden und die Böden mit hohen Eisenanteilen sowie hohen Gehalten an zersetzbarer organischer Substanz im Unterboden von besonderem Interesse. In letzteren kann durch die Zersetzung der org. Substanz der vorhandene Sauerstoff verbraucht werden, da in tieferen Bodenschichten die O₂-Nachlieferung von der Oberfläche her nur langsam ablaufen kann. Somit treten dann reduzierende Verhältnisse auf. Ob es dadurch bedingt aber nur zu lokalen Umlagerungen kommt oder auch Austräge in das Grundwasser erfolgen, ist noch unklar. Hierzu fehlen Untersuchungen.

Für die Eisenoxide und -hydroxide scheint ein erhöhter Austrag aus den Böden ins Grundwasser bedingt durch den Klimawandel wahrscheinlich: Sollte es, wie es die Klimaprojektionen und die vorliegenden Messdaten annehmen lassen, zu höheren Jahresniederschlägen sowie zu einer Umverteilung der Niederschläge hin vom Sommer- zum Winterhalbjahr kommen (vgl. hierzu auch Quirnbach et al. 2012a), könnten sich die Redoxsysteme in einigen Bodenhorizonten so relevant ändern, dass dadurch erhöhte Eiseneinträge ins Grundwasser erfolgen. Hierbei spielen die anzunehmenden größeren Grundwasseramplituden eine wesentliche Rolle (vgl. hierzu Höke et al. 2011).

Die Wasserqualität in den Fließgewässern bei Trockenwetterabfluss im Sommer wird primär durch die Qualität des oberflächlich austretenden Grundwassers und jenes Grundwassers bestimmt, welches aus den Poldergebieten aufgrund der Grundwasserbewirtschaftung in die Gewässer eingeleitet wird. Sollte sich bestätigen, dass aus den Böden während dieser trockenen Zeiten auch weniger Eisen in die Oberflächengewässer gelangt, würde sich das positiv auf die Wasserqualität auswirken. Die Datenlage ist hier aber noch zu gering, um endgültige Aussagen zu treffen.

6 Flächenhafte Verbreitung anthropogen veränderter Böden, abgeleitet aus Bohr- und Bodendatenauswertungen

Das Kapitel 6 ist als ergänzender Beitrag zu dieser dynaklim-Publikation von K.J. Berief und E. Pankratz erstellt worden (vgl. PLAN-ZENTRUM UMWELT 2012). Es beschreibt die Ergebnisse eines – außerhalb von dynaklim – erstellten Gutachtens zur Verbreitung anthropogen veränderter Böden in Herne, Gelsenkirchen und Gladbeck.

Die in dem Gutachten verwendeten sogenannten Bohr- und Bodendatenbanken der Emschergenossenschaft, der Kommunen und des Geologischen Dienstes enthalten – zumeist nach GeoDIN aufgenommene – Bohrdaten aus geologischen und bautechnischen Untersuchungen sowie aus der Untersuchung von Altlasten(verdachts)flächen. Aufnahmen nach einer bodenkundlichen Feldansprache, die zu einem großen Teil für anschließende bodenkundlichen Bewertungen unabdingbar sind, liegen in diesen Datenbanken nicht oder nur selten vor. Dennoch bieten diese Datenbanken hinsichtlich einiger wichtiger Eingangsdaten zur Bodenbewertung (z.B. Aufschüttungsmächtigkeiten, Skelett- und Schadstoffgehalte) eine wertvolle Quelle, da sie in hoher Dichte vorliegen.

Das Gutachten von PLAN-ZENTRUM UMWELT (2012) wird hier mit vorgestellt, da die Auswertung der Bohr- und Bodendaten innerhalb der Grenzen von drei Kommunen im Emscherraum, zu einem mit dem dynaklim-Ansatz ermittelten vergleichbar großen Flächenanteil an anthropogen deutlich überprägten Böden führte. Die zwei unterschiedlichen Ansätze zur Ermittlung der Flächenanteile der urbanen Böden bzw. Bodenraumeinheiten führen zum selben Ergebnis und bestätigen einander. Die urbane Bodenlandschaft von Bottrop ist kein Einzelfall im Emscherraum, sondern tritt großräumig auf. Auch sollten bei einem Aufbau von URBIS-ER für das gesamte Einzugsgebiet der Emscher die Ergebnisse der Auswertungen der Bohrdaten mit in URBIS-ER integriert werden.

Parallel zu den Arbeiten im Pilotprojekt Bottrop erfolgte 2011/2012 durch die Plan-Zentrum Umwelt GmbH eine auf die drei Städte Gelsenkirchen, Gladbeck und Herne bezogene Auswertung, die ausschließlich bereits vorhandene und digitalisierte Bodendaten nutzte (PLAN-ZENTRUM UMWELT 2012). Vor dem Hintergrund der geplanten Ersatzbaustoffverordnung und der Novellierung der BBodSchV sollte diese Auswertung als Hilfestellung für die aktuelle Diskussion über den Umgang mit anthropogen veränderten Böden dienen. So wurde der vorhandene Datensatz hinsichtlich seiner Aussagen

- zur Verbreitung anthropogen veränderter Böden im Untersuchungsgebiet und
- zum Vorkommen und zu den Anteilen technogener Substrate

geprüft. Letztere orientierten sich an der in der ErsatzbaustoffV und den Vorschlägen zur Novellierung der BBodSchV genannten Grenze von 10 Vol.-%.

Die Ergebnisse können als wesentliche Bausteine für weitergehende Überlegungen zur Definition und räumlichen Abgrenzung von regionalen Hintergrundgehalten herangezogen werden, die der tatsächlichen Situation in der Emscherregion entsprechen und damit Grundlagen des notwendigen, regionalen Bodenmanagements sind.

6.1 Aufbereitung des Datensatzes

Für die Auswertungen standen insgesamt 21.903 Bodenaufschlüsse aus den städtischen sowie den Datenbanken der Emschergenossenschaft und des Geologischen Dienstes zur Verfügung. Sie entstammen unterschiedlichen Untersuchungsprogrammen aus unterschiedlichen Zeiten mit jeweils unterschiedlichen Zielrichtungen und Vorgehensweisen bei der Datenerhebung. Dadurch differieren zwangsläufig sowohl die Benennung als auch der Detaillierungsgrad der aufgenommenen Daten teilweise erheblich.

Im Rahmen einer umfangreichen Aufbereitung wurden die Struktur der Daten vereinheitlicht und nicht verwendbare Daten aus dem Kollektiv entfernt. Schwerpunktmäßig diente die Aufbereitung der Daten allerdings dazu, für jeden Bodenaufschluss die Mächtigkeit der anthropogen veränderten Schichten zu bestimmen sowie Art und Anteil (</> 10 Vol.-%) der im Boden enthaltenen technogenen Substrate zu differenzieren. Nach Abschluss der Aufbereitung gingen gut 11.500 Bodenaufschlüsse in die weitergehenden Auswertungen ein, von denen lediglich gut 7 % keine Hinweise auf anthropogene Veränderungen und fast 70 % technogene Beimengungen enthalten.

Die parallel geprüften kartographischen Auswertungsdaten spielen eine entscheidende Rolle für die Auswertung der punktbezogenen Daten. Sie gliedern das Untersuchungsgebiet hinsichtlich der Ausprägung möglicher Einflussparameter auf den Boden (z.B. Nutzung/Nutzungsgeschichte, naturräumliche Ausstattung, Bergsenkungen) und bieten damit die Grundlage, Abhängigkeiten zwischen Einflussparameter sowie Bodenaufbau zu erkennen und ein Raumeinheitenmodell zu erarbeiten. Über eine Verschneidung im GIS wurden den punktbezogenen Daten die entsprechenden Flächeninformationen zugewiesen.

Der Datensatz bietet allein schon wegen seiner Größe eine bisher in vergleichbarer Form nicht vorhandene Grundlage zur Erfassung und Gewichtung möglicher Einflussfaktoren auf den Boden in der Emscherregion. Die Daten aller relevanten Maßnahmenträger (Kommunen, Emschergenossenschaft, Geologischer Dienst) wurden gebündelt, vereinheitlicht und um wesentliche Daten zu den Einflussfaktoren erweitert, so dass durch einfache Abfrageroutinen die Mächtigkeit und die Zusammensetzung anthropogen veränderter Schichten ermittelt und räumlich dargestellt sowie in Beziehung zu den verschiedenen Einflussfaktoren wie Ausmaß der Bergsenkungen, Lage im Naturraum oder Nutzungsgeschichte gesetzt werden können.

Dennoch sind bei der Interpretation auch die Grenzen der Aussagekraft zu berücksichtigen, die sich vor allem aus folgenden Gründen ergeben:

- Keine bodentypologische Bewertung des Bohrprofils – das erschwert die eindeutige Trennung von aufgeschütteten und im Rahmen der Bodenbearbeitung umgelagerten, natürlichen Bodenhorizonten. Deshalb wird der allgemeine Begriff des „anthropogen veränderten Bodens“ verwendet.
- Verteilung im gesamten Untersuchungsgebiet – es sind nicht alle Bereiche des Untersuchungsgebiets gleich gut repräsentiert. Dies ist vor allem bei einer möglichen Übertragung von Ergebnissen zu berücksichtigen. So liegen Bohrpunkte auf wohnbaulich geprägten Flächen fast ausschließlich in Gelsenkirchen und Herne – hier allerdings in guter Verteilung.
- Datenlage für einzelne Raumeinheiten – Einige Flächentypen weisen ein nur geringes und räumlich schlecht verteiltes Datenkollektiv auf (betrifft insbesondere die naturnahen Nutzungen in allen drei Stadtgebieten).
- Lage innerhalb der Teilfläche einer Raumeinheit – Die Bodenaufschlüsse liegen nicht immer im zentralen Bereich der entsprechend dem jeweiligen Raumeinheitenmodell ausgegliederten Teilflächen. Dadurch können Einflüsse benachbarter Flächen (z.B. Wegebaumaßnahmen) das Bohrprofil in für die Raumeinheit untypischer Weise verändern.

- Verfügbarkeit von Sekundärdaten im Untersuchungsgebiet – Eine Abhängigkeit zwischen der Mächtigkeit anthropogener Aufträge und dem Ausmaß von Bergsenkungen kann nur für Herne geprüft werden und deshalb nicht ohne weiteres auf die anderen Bereiche des Untersuchungsgebiets übertragen werden.

6.2 Raumeinheitenmodell

Die Auswertung und Interpretation des Datensatzes beschränkten sich auf den Siedlungsbereich der jeweiligen Städte. Ausgeschlossen wurden solche Flächen, die als Acker-, Grünland- oder Waldflächen entweder im planungsrechtlichen Außenbereich liegen oder aber durch die Untere Bodenschutzbehörde von Gelsenkirchen als besonders naturnah (Naturnähestufe 5) gekennzeichnet werden, da davon auszugehen ist, dass auf solchen Flächen auch in Zukunft ein Auf- und Einbringen von Material im nennenswerten Umfang nicht stattfinden wird. Hinzu kommt der mit 461 Bohrpunkten – 4 % des Datensatzes repräsentieren 18,4 % der Gesamtfläche – vergleichsweise geringe Datenumfang, der die Aussagekraft einer statistischen Auswertung hinsichtlich einer flächenhaften Verbreitung anthropogener Eingriffe auf diesen Flächen stark einschränkt.

Die Ursachen anthropogener Eingriffe auf den Boden sind vielfältig. Sie können

- ein Ausgleich bestimmter naturräumlicher Voraussetzungen im Vorfeld einer Nutzung (Grundwasserflurabstand, Baugrundeignung des Substrates)
- eine Art der Nutzung selbst (Deponierungen, Bodenbearbeitungen im Gartenbau oder in der Landwirtschaft) oder aber
- ein notwendiger Ausgleich von unerwünschten Effekten anthropogener Nutzungen (z.B. Bergsenkungen) sein.

Im Ruhrgebiet können in der Regel weder die Ursachen noch die Eingriffe isoliert für sich betrachtet werden, da sie fast nie in „Reinform“ auftreten, sondern vielmehr im Verbund das Ausmaß anthropogener Veränderungen des Bodens kennzeichnen. So wurden im Vorfeld der Auswertungen entsprechende statistische Versuche unternommen, den Grundwasserflurabstand, das Ausmaß von Bergsenkungen und die Tragfähigkeit der natürlicherweise anstehenden Bodensubstrate mit der Tiefe anthropogener Eingriffe in Beziehung zu setzen. Dass die Ergebnisse kein eindeutiges Bild ergaben, liegt weniger daran, dass es keine Wechselwirkungen gibt, sondern daran, dass sich sowohl die Ursachen als auch die anthropogenen Eingriffe in ihrer Wirkung jeweils überlagern.

Ein möglicher und im Rahmen der Erstellung von Bodenbelastungskarten erprobter Ansatz besteht darin, die anthropogene Nutzung bzw. Nutzungsgeschichte als Summe der wesentlichen stofflichen und strukturellen Einflussfaktoren auf den Boden heranzuziehen. Die in Tabelle 6.2.1 voneinander abgegrenzten Raumeinheiten folgen diesem nutzungsbezogenen Ansatz.

Die verbleibenden Raumeinheiten werden anhand der aktuellen Nutzung voneinander abgegrenzt. In Tabelle 6.2.1 zeigt sich, dass von ihnen vor allem die Wohnbauflächen und, in Abstrichen, die Grün- und Parkanlagen eine flächenhafte Bedeutung besitzen.

Tab. 6.2.1: Raumeinheiten mit Angabe der Flächenanteile und Zahl der Bohrpunkte

	Flächenanteil		Zahl der Bohrpunkte	
	in ha	in %	absolut	in %
Flächen mit hoher Wahrscheinlichkeit anthropogener Veränderung				
registrierte Altablagerungen	1.358,3	7,0	1.293	11,2
registrierte Altstandorte	3.117,5	16,1	3.934	34,1
künstlich veränderte Flächen ⁶	778,8	4,0	333	2,9
versiegelte Flächen ⁶	4.079,0	21,0	1.368	11,9
Umfeld aktueller/historischer Bachläufe ⁶	910,3	4,7	902	7,8
Flächen mit mehrfachem „Verdacht“ ^{6,7}	1.736,0	4,7	425	3,7
gesamt	11.159,9	57,5	8.255	71,6
Verbleibende Flächen des Siedlungsbereiches				
Wohnbauflächen	1.939,4	10,1	911	7,9
Flächen öffentl. Gebäude	182,3	0,9	300	2,6
Gewerbeflächen	159,3	0,8	120	1,0
Grün- und Parkanlagen	756,2	3,9	529	4,6
Kleingartenanlagen	316,5	1,6	281	2,4
Straßenbegleitgrün (nur Gelsenkirchen, Gladbeck)	373,0	1,9	134	1,1
Brachen	160,0	0,8	97	0,8
sonstige Flächen	1.275,1	4,1	434	3,8
gesamt	4.628,8	24,1	2.806	24,2

6.3 Ergebnisse der statistischen Auswertungen vor dem Hintergrund der flächenhaften Verbreitung anthropogener Böden

An dieser Stelle können die umfangreichen statistischen Auswertungen nur verkürzt dargestellt und zusammengefasst werden. Für weitere Angaben wird auf PLAN-ZENTRUM UMWELT (2012) verwiesen. Die Abbildungen 6.3.1 und 6.3.2 geben einen Überblick über die räumliche Verteilung der in die Auswertung eingegangenen Bodenaufschlüsse und zeigen jeweils die an der betreffenden Stelle vorgefundene Tiefe anthropogener Veränderung. Die Klassenbildung berücksichtigt mit der Zusammenfassung von Böden ohne bzw. mit nur geringer anthropogener Veränderung (bis 40 cm), dass sie bei einigen Raumeinheiten ausschließlich auf eine intensive gärtnerische Bearbeitung zurückgeht, durch die vereinzelt technologische Substrate in den Boden gelangen können.

⁶ Außerhalb der im vorgenannten, im Verdachtsflächenkataster registrierten Flächen.

⁷ Flächen, die in den Kartierungen mehrfachen Flächentypen zugeordnet wurden. Sie und die entsprechenden Bohrpunkte konnten deshalb nicht für die Ermittlung von Ausmaß und Intensität von anthropogenen Einflüssen auf die einzelnen Flächentypen herangezogen werden.

Grundsätzlich zeigt die punktbezogene Darstellung, dass die massivsten Veränderungen sich auf solchen Flächen befinden, die bereits im Vorfeld bei der Bildung des Raumeinheitenmodells als Flächen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit anthropogener Veränderung entsprechend abgegrenzt wurden (Abschn. 6.2). So dominieren bei flächenhafter Betrachtung die Kategorien zwischen 1 m und 5 m. Entlang der Emscher und einiger anderer Bachläufe sowie auf den Flächen von Altablagerungen finden sich allerdings auch Veränderungstiefen von mehr als 5 m. Lediglich im Gelsenkirchener Norden weist ein größerer Anteil von Bodenaufschlüssen auch Veränderungstiefen von weniger als 1 m auf.

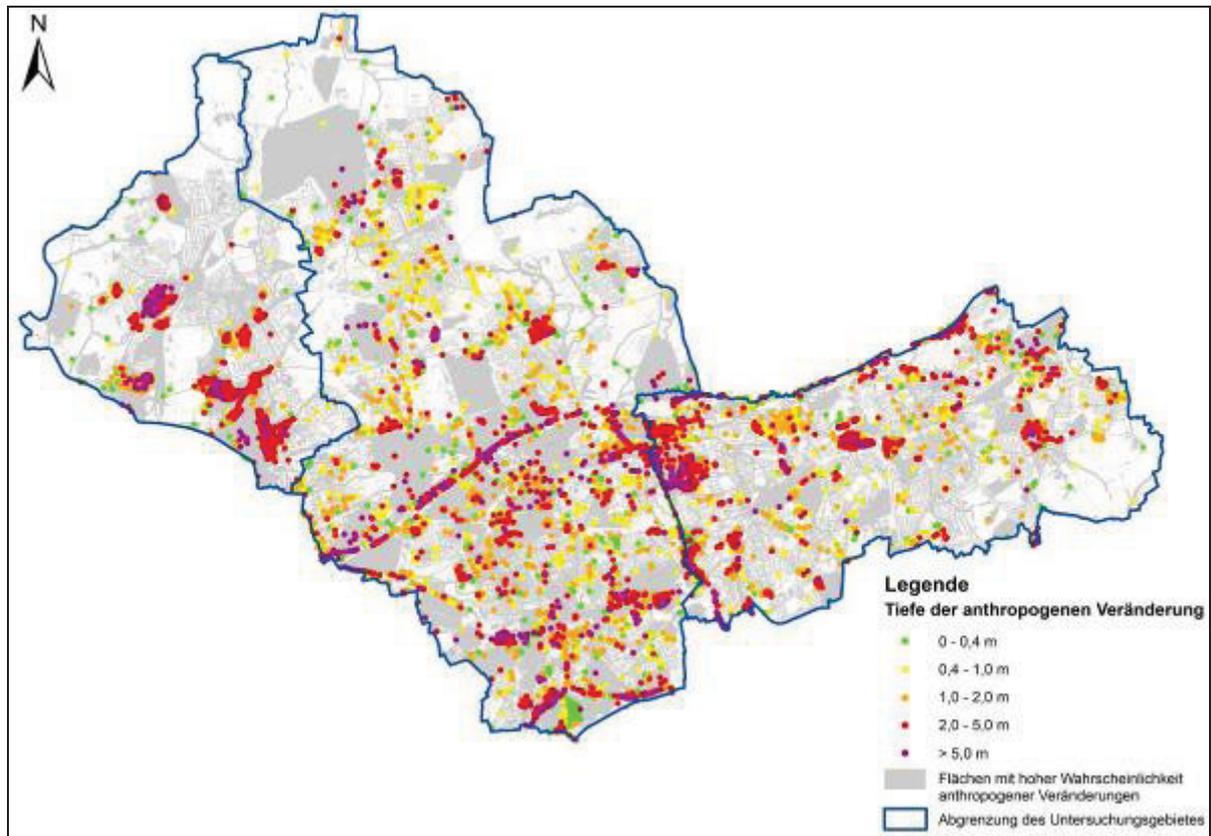


Abb. 6.3.1: Räumliche Verteilung der Bodendaten und Darstellung der Tiefe der anthropogenen Veränderung (auf Flächen mit hoher Wahrscheinlichkeit anthropogener Veränderung)

In Abbildung 6.3.2 wird deutlich, dass auch abseits der Flächen mit hoher Wahrscheinlichkeit ein großer Anteil der Bodenaufschlüsse anthropogene Veränderungen aufweist, die über das Maß der gärtnerischen Bearbeitung hinausgehen.

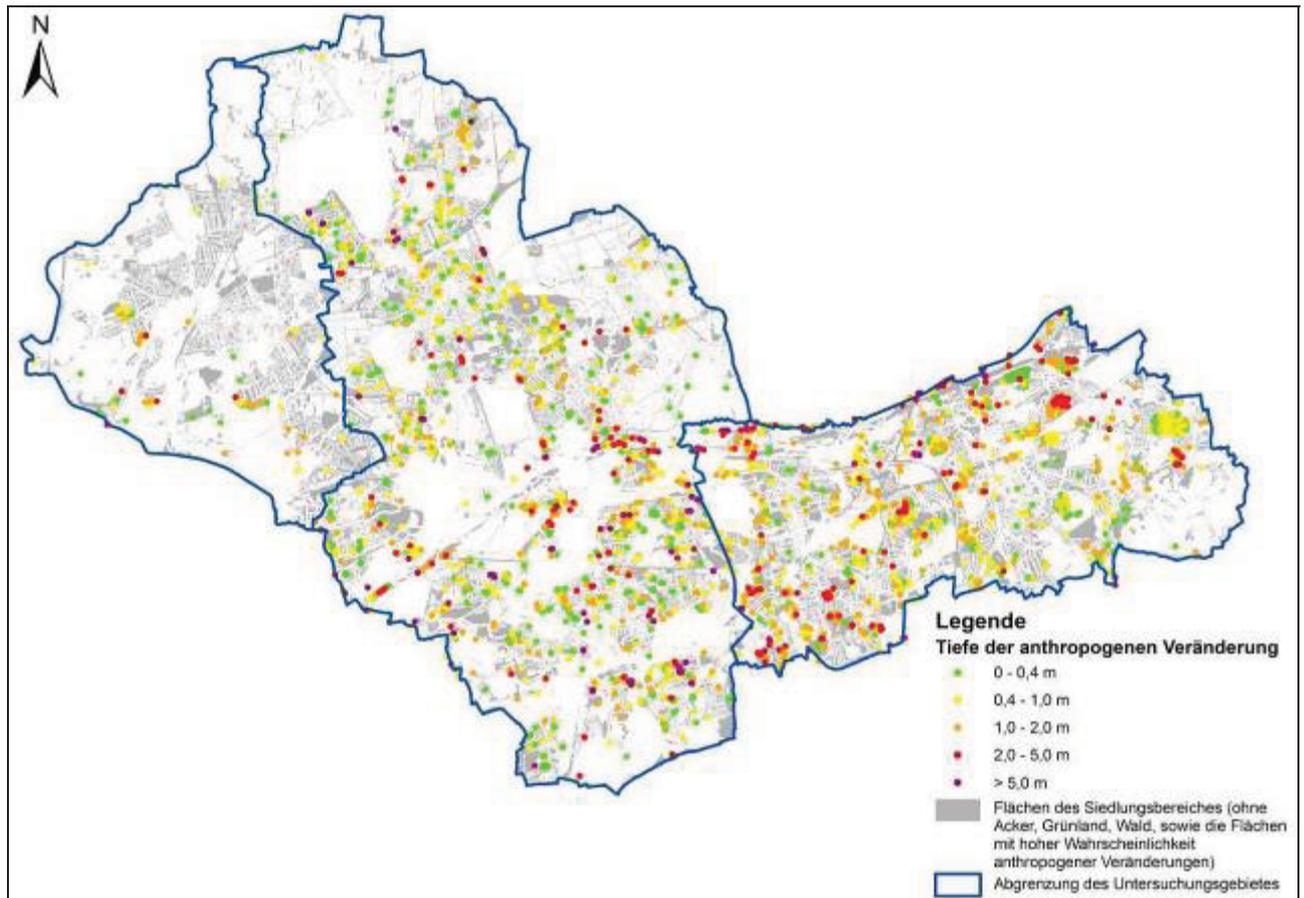


Abb. 6.3.2: Räumliche Verteilung der Bodendaten und Darstellung der Tiefe der anthropogenen Veränderung (auf den verbleibenden Flächen des Siedlungsbereiches)

Augenscheinlich dominieren die Kategorien zwischen 0,4 m und 2 m. Allerdings zeigt sich vor allem im Stadtgebiet von Herne sowie von Gelsenkirchen südlich der Emscher ein nennenswerter Anteil an Bodenaufschlüssen mit höheren Veränderungstiefen. Eine Aussage über das Stadtgebiet von Gladbeck kann aufgrund der geringen Datendichte nicht getroffen werden.

Die Tabelle 6.3.1 stellt für alle statistisch ausgewerteten Raumeinheiten die wesentlichen Kenndaten und die Hinweise auf die Zusammensetzung der anthropogen veränderten Böden dar. Darüber hinaus fasst Tabelle 6.3.2 die auf die Städte Gelsenkirchen und Herne beschränkten Auswertungen zu den wohnbaulich genutzten Flächen zusammen. Es fällt auf, dass die nach dem Krieg außerhalb der Emscherniederung entstandenen Wohnbauflächen im Vergleich zum Durchschnitt deutlich nach unten, die restlichen Wohnbauflächen mit baulicher Vornutzung deutlich nach oben abweichen. Letztere besitzen in Gelsenkirchen und Herne allerdings nur eine untergeordnete flächenhafte Bedeutung.

Auch bei Beachtung der genannten Grenzen des Datensatzes dokumentieren die Abbildungen und Tabellen eine starke anthropogene Prägung der Böden im Untersuchungsgebiet, die auch bei einer hohen Differenzierungstiefe bestehen bleibt. So weisen auf allen Flächentypen des Siedlungsbereichs die Bodenaufschlüsse zu mehr als 60 %, in der Regel aber zu mehr als 70 % eine Tiefe der anthropogenen Veränderung von mehr als 40 cm auf und bewegen sich damit auf einem vergleichbar hohen Niveau. Trotzdem hat sich allerdings auch bestätigt, dass die im Vorfeld als Raumeinheit auskartierten Flächen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit anthropogener Eingriffe tatsächlich auch die massivsten Beeinträchtigungen zeigen und darüber hinaus auch mit einem Flächenanteil von knapp 60 % den größten Flächenanteil bilden.

Tab. 6.3.1: Flächenhafte Bedeutung und Kenndaten der statistisch ausgewerteten Flächentypen

	Flächenanteil (%)	Tiefe anthropogene Veränderung (u. GOK)			Bodenaufschlüsse mit techn. Substraten (%)
		> 40 cm ¹⁾	Median (cm)	90. Perz. (cm)	
Flächen mit hoher Wahrscheinlichkeit anthropogener Veränderungen (57,5 %)					
Altablagerungen	7,0	92,7	280	628	85,6
Altstandorte	16,1	93,1	200	510	73,8
künstl. veränderte Flächen	4,0	82,1	140	376	72,1
versiegelte Flächen	21,0	87,9	80	190	59,3
aktuelle/historische Bachläufe	4,7	84,8	120	460	75,6
Flächen mit mehrfachem Verdacht	4,7	92,7	150	440	77,2
verbleibender Siedlungsbereich (ohne Restflächen) (20 %)					
Wohnbauflächen (Gesamt)	10,1	78,1	70	180	72,1
Flächen öffentlicher Gebäude	0,9	70,8	60	130	83,6
Gewerbeflächen	0,8	87,5	100	239	77,5
Grünanlagen	3,9	71,8	80	315	71,5
Kleingartenanlagen	1,6	60,8	50	220	51,6
Straßenbegleitgrün (nur Gelsenkirchen, Gladbeck)	1,9	78,1	90	220	44,0
Brachen (undifferenziert)	0,8	70,6	70	177	65,0
Außenbereich (Acker, Grünland und Wald) (18,4 %)					
Acker, Grünland, Wald	18,4	nicht ausgewertet			

¹⁾ in % der Bodenaufschlüsse

Tab. 6.3.2: Flächenhafte Bedeutung und Kenndaten der differenzierten Wohnbauflächen (Gelsenkirchen, Herne)

	Flächenanteil (%)	Tiefe anthropogene Veränderung			Bodenaufschlüsse mit techn. Substraten (%)
		> 40 cm ¹⁾	Median	90. Perz.	
Wohnbauflächen seit 1900	0,9	84,8	80	200	82,0
Wohnbauflächen seit 1936	2,0	76,6	60	132	65,8
Wohnbauflächen seit 1965 innerhalb der Emscherniederung	0,7	85,1	90	240	75,0
Wohnbauflächen seit 1965 außerhalb der Emscherniederung	1,8	69,7	60	158	65,6
Wohnbauflächen mit baul. Vornutzung	0,6	94,8	100	170	83,8

¹⁾ in % der Bodenaufschlüsse

Bei der Differenzierung der Wohnbauflächen wird deutlich, dass sowohl die räumliche Lage als auch das Nutzungsalter Einfluss auf die Stärke der Bodenveränderung haben können. So zeigen die jüngeren Wohnbauflächen abseits der Emscherniederung, d.h. im Norden Gelsenkirchens bzw. im Süden/Südosten von Herne signifikant niedrigere Eingriffstiefen. Gleichwohl bewegt sich diese regionale Gliederung des Untersuchungsgebiets in jedem Fall auf einem hohen Niveau (Median mindestens 60 cm).

Hinzu kommt, dass auch die Anteile von Bodenaufschlüssen mit technogenen Substraten in fast allen Raumeinheiten deutlich über 60 % liegen. Eine Ausnahme bilden lediglich die Böden unter bzw. im unmittelbaren Umfeld von versiegelten Flächen sowie die geringen Flächenanteile der Kleingartenanlagen und des Straßenbegleitgrüns. Hier treten natürliche Bodenmaterialien bzw. solche in den Vordergrund, bei denen eine technologische bzw. natürliche Herkunft nicht eindeutig geklärt werden kann (Tragschicht).

Angesichts der genannten Einschränkungen hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Bodendaten fand im Rahmen der Untersuchung eine flächenhafte Übertragung auf Grundlage der ermittelten Kennwerte (Median, 90. Perzentil) zwar nicht statt. Dennoch ergeben sich ausreichende Hinweise darauf, dass die Ergebnisse für den gesamten Siedlungsbereich der Städte Gelsenkirchen, Gladbeck und Herne typisch sind. Darüber hinaus lassen sich die Ergebnisse aufgrund des in der vorliegenden Untersuchung festgestellten hohen Einflusses regionstypischer Wirkfaktoren wie etwa

- das überdurchschnittliche Vorkommen von Altastenvordachtsflächen,
- die langjährigen Regulierungsarbeiten an den historischen und aktuellen Bachläufen,
- der hohe Versiegelungsgrad und
- die intensive Bebauung im Siedlungsbereich

auch auf andere Bereiche der Emscherregion übertragen. Einschränkend sind dabei die Hinweise auf eine andere Intensität anthropogener Veränderungen abseits der unmittelbaren Emscherniederung zu beachten. Allerdings zeigen die Bodenaufschlüsse auch auf Flächen südlich bzw. nördlich der Emscherniederung in allen Raumeinheiten einen zwar signifikant niedrigeren, aber immer doch deutlich erkennbaren anthropogenen Einfluss auf.

Erste Auswertungen für die Nutzungstypen des Außenbereichs (Acker, Grünland, Wald) deuten darauf hin, dass auch auf diesen, abgesehen von einer nutzungsspezifischen Bearbeitung eher als naturnah eingeschätzten Flächen teilweise massive anthropogene Veränderungen stattgefunden haben, die mit einem Eintrag technogener Substrate in den Boden verbunden sind. Abschließende, repräsentative Aussagen können mit dem vor allem auf den Siedlungsbereich konzentrierten Datensatz nicht getroffen werden. Deshalb sollten nach einer Recherche zusätzlicher Bodendaten tiefergehende Auswertungen diesen Hinweisen nachgehen.

6.4 Fazit

Im Rahmen der Untersuchung konnte ein vereinheitlichter Datensatz erstellt werden, der für ein knapp 20.000 ha großes Untersuchungsgebiet Daten zu 11.500 Bodenaufschlüssen zur Verfügung stellt. Nach einer – allerdings sehr aufwändigen – Aufbereitung bildet der Datensatz eine gute Grundlage für die Auswertungen zu Vorkommen und Art anthropogener Veränderungen.

So wurden wesentliche Einflussparameter auf den Boden wie Nutzung, Nutzungsgeschichte, Bergsenkungen, naturräumliche Ausstattung auf Teilflächen bzw. auf das gesamte Untersuchungsgebiet bezogen ausgewertet. Diese Untersuchungen haben massive anthropogene Veränderungen nachgewiesen, die fast den kompletten Siedlungsbereich der drei Städte (gut 80 Prozent des gesamten Untersuchungsgebiets) betreffen. Dementsprechend liegen die Mediane zur Tiefe anthropogener Veränderungen zwischen 50 und 280 cm, die 90. Perzentile zwischen 130 und 628 cm.

Abgesehen von den Daten einzelner Nutzungstypen weisen die Bodenaufschlüsse zu Anteilen zwischen 75 und 95 % anthropogene Veränderungen auf, die über das Maß der gartenbaulichen Bearbeitung (40 cm) hinausgehen. Hinzu kommt, dass in deutlich mehr als 50 %, in der Regel mehr als 70 % der Bodenaufschlüsse technogene Substrate enthalten sind.

Es ergeben sich ausreichende Hinweise darauf, dass die Ergebnisse für den gesamten Siedlungsbereich der Städte Gelsenkirchen, Gladbeck und Herne typisch sind. In gleicher Weise lässt sich aufgrund des in der vorliegenden Untersuchung festgestellten hohen Einflusses regionstypischer Wirkfaktoren (Altastenverdachtsflächen, Versiegelungsgrad, intensive Bebauung im Siedlungsbereich) vermuten, dass die Ergebnisse mit Einschränkungen auch für andere Bereiche der Emscherregion Gültigkeit besitzen. Eine entsprechende Übertragbarkeit ist allerdings abschließend noch zu prüfen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden auch erste schadstoffbezogene Auswertungen durchgeführt, die zeigen, dass auch außerhalb der registrierten Verdachtsflächen sowohl Benzo(a)pyren und die Summe der PAK als auch – in abgeschwächter Form – Blei im Tiefenbereich von 0,5 m bis 5,0 m bezogen auf die Vorsorge- und Prüfwerte eine hohe Bedeutung besitzen. Für weitere Aussagen wird auf PLANZENTRUM UMWELT (2012) verwiesen. Es ist zu prüfen, ob in Analogie zur Vorgehensweise für den Oberboden im Rahmen des regionalen Flächennutzungsplans der Planungsgemeinschaft Städteregion Ruhr auch für die tieferen Bodenschichten gebietsbezogene Beurteilungswerte oberhalb der Vorsorgewerte festzusetzen sind.

7 Forschungsbedarf

Ein weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird primär hinsichtlich der folgenden Themenfelder gesehen:

- 1) Für welche planungsrelevanten bodenkundlichen Eigenschaften bzw. Fragestellungen können die Bohrdaten, die ja überwiegend nicht für bodenkundliche Fragestellungen erhoben wurden, zusätzliche Erkenntnisse liefern und für welche nicht? Wie lassen sich die Ergebnisse der Auswertungen der Bohrdaten in URBIS-ER integrieren?
- 2) Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den neuen urban-industriellen Bodenraumeinheiten und den Gewässerqualitäten (Grund- und Oberflächengewässer) außerhalb von Altlastenflächen?
- 3) Wie werden sich die urban-industriellen neuen Bodenraumeinheiten zukünftig pedogenetisch – auch unter Einfluss des Klimawandels – weiterentwickeln (vgl. hierzu auch Höke et al. 2011)? Welche mittel- und langfristigen Konsequenzen für die Grund- und Oberflächenwasserqualität entstehen daraus?
- 4) Welche Bedeutung hat die flächenhafte Verbreitung der urban-industriellen Bodenraumeinheiten für das Wasser- und Bodenmanagement? Wo werden durch die hohen Flächenanteile der neuen urban-industriellen Bodenraumeinheiten gebietsbezogene Sonderlösungen notwendig? Wie können diese Sonderlösungen ausgestaltet werden, damit sich die heute stark beeinträchtigten Wasser- und Bodenqualitäten mittel- bis langfristig wieder verbessern?
- 5) Durch welche Maßnahmen lässt sich die Kühlleistung innerhalb urban-industrieller Böden erhöhen? Wie kann man sie bei anthropogen überprägten Böden aus natürlichen Substraten (z. B. verdichtete Böden) verbessern?
- 6) Bodenphysikalisch sind viele der neuen Bodenraumeinheiten geeignet zur Niederschlagswasserversickerung. Eine Bewertung der Filter-, Puffer- und Transformationskapazitäten und der Schadstofffreisetzungspotenziale durch Niederschlagswasserversickerung auf den neuen urban-industriellen Bodenraumeinheiten muss noch neu entwickelt werden.
- 7) Lässt sich der sich andeutende Jahresgang der Eisengehalte im oberflächennahen Grundwasser bestätigen? Diese Frage ist wichtig für die Interpretation von Fe-Konzentrationen in den Gewässern und auch hinsichtlich möglicher ökologischer Auswirkungen. Welche Mengen an Eisen (oder auch Sulfat) werden aus welchen neuen Bodenraumeinheiten unter welche Bedingungen (Kohlenstoffgehalte, Redoxbedingungen usw.) freigesetzt? Hierzu würde sich auch eine Auswertung der vorhandenen Daten von Altlastenverdachtsflächen und Altlastensanierungen ebenso anbieten wie eine Auswertung der Fe-Gehalte der Schüttel- und Säulenversuche, die für die Werteableitungen in der neuen Ersatzbaustoffverordnung durchgeführt wurden.
- 8) Wie können Versickerungsanlagen usw. so gestaltet werden, das möglichst große Wassermengen verdunsten statt versickern? Lohnt sich der Bau eines Zisternensystems zur Bewässerung von Grünflächen während sommerlicher Trockenperioden im urbanen Raum? Hierzu fehlen konkrete Machbarkeitsstudien, die nicht Aufgabe in *dynaklim* waren. Wie können die potenziellen Bodenkühlleistungen in den städtischen Klimamodellen und auch z.B. bei der Erstellung von Klimatopekarten zukünftig mit berücksichtigt werden? Wie können die fachlichen Ergebnisse besser in die Planungsprozesse integriert werden? Wie können Pilotanlagen umgesetzt werden? Wie können die Vorteile nachvollziehbarer monetarisiert werden? Steigt dadurch die Akzeptanz?
- 9) Wie beeinflusst der Bau von Versickerungsanlagen die Grundwasserneubildung? Sind durch die Einbeziehung von Ergebnissen aus Lysimeterversuchen Optimierungen der Berechnungsverfahren möglich?

8 Zusammenfassung

Ziel des Projektes war es, eine praktikable und finanzierbare Methode zu entwickeln, welche die Bereitstellung der erforderlichen räumlichen Bodeninformationen für die wasserwirtschaftlichen Planungsprozesse im anthropogen stark überprägten Emscherraum im Klimawandel ermöglicht.

Zur Erreichung dieses Ziels wurde das Urbane Bodeninformationssystem Emscherraum (URBIS-ER) entwickelt.

- Im ersten Schritt wurde eine digitale Konzeptbodenkarte mit der Verbreitung urban-industrieller Bodenraumeinheiten erstellt. Der bodenkundlich neu bewertete Flächenanteil überprägter Böden beträgt im Mittel in den Testgebieten rund 70 %. Im Vergleich dazu weist die BK50 im Einzugsgebiet der Emscher nur rund 10 % überprägter und/oder nicht kartierter Böden auf, im Testgebiet Bottrop sogar nur 6,3 %.
- Die Konzeptbodenkarte wurde im Gelände durch Bodenkartierungen validiert. Die Kartierungsergebnisse haben das neue Bodenraumeinheitenmodell zufriedenstellend bestätigt. Der Differenzierungsgrad ist für die regionale Ebene geeignet.

Das für zwei Testgebiete entwickelte Modell zur Abgrenzung der neuen Bodenraumeinheiten kann mittels Geoprocessing und ergänzender Bodenkartierung auf das gesamte Einzugsgebiet der Emscher übertragen werden. Somit muss die urban/industrielle Bodenlandschaft Emscherraum auch bei angespannter finanzieller Lage der öffentlichen Hand kein Raum ohne die wichtigen aktuellen Informationen über Aufbau und Eigenschaften des anstehenden Bodens bleiben. Es ist mit vertretbarem Mittelaufwand möglich, Konzeptbodenkarten im Maßstab 1 : 50.000 zu erstellen, welche die heutige urban/industrielle Bodenlandschaft in ihren Grundzügen erfasst und dadurch für viele wichtige Planungsentscheidungen eine wesentlich bessere Grundlage bildet als die überalterten bestehenden Bodenkarten 1 : 50.000, die noch weit überwiegend naturnahe Böden aufweisen.

Zur Attributierung der neuen Bodenraumeinheiten wurde eine Stadtbodendatenbank mit kartierten und mit Labordaten hinterlegten Bodenprofilen aus der Region aufgebaut. Den Profilen wurden Nutzungs- und Substratkategorien (z.B. sand- oder schluff-/lehmgeprägt usw.) zugewiesen, mit deren Hilfe die Gruppenbildungen für die Attributierung erfolgten.

Es zeigte sich, dass die „neuen urban-industriellen Bodenraumeinheiten“ aus der digitalen Konzeptbodenkarte auf diese Weise bodenkundlich charakterisiert werden können. Die neuen Bodenraumeinheiten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer mittleren Eigenschaften zumeist deutlich voneinander. Die Anzahl der vorliegenden Stadtbodenprofile reicht aber noch nicht aus, um den Begriff Bodenkarte statt Konzeptbodenkarte zu verwenden.

Die Eignung des schon lange bekannten Flächennutzungsansatzes für die Abgrenzung urbaner/industrieller Bodenraumeinheiten (z.B. Schneider 2000) hat sich in diesem Projekt einmal mehr bestätigt. Die Charakterisierung der neuen Bodenraumeinheiten konnte jedoch durch den neu hinzunommenen Ansatz, das vorherrschende ‚ehemalige‘ Bodensubstrat konsequent mit einzubeziehen, deutlich verbessert werden. Dazu wiederum stellt die BK 1 : 50.000 eine ideale digitale Datengrundlage dar.

Die Ergebnisse zeigen, wie verbreitet und tiefgreifend die anthropogene Bodenüberprägung im Emscherraum ist, und wie stark sich die verschiedenen (historischen) Flächennutzungen auf die Bodeneigenschaften ausgewirkt haben. Die urban/industriellen Böden haben in großen Gebieten die Funktionen der naturnahen Böden im Wasser- und Stoffkreislauf übernommen.

Auch wenn der Emscherraum sicher mit zu den besonders stark vom Menschen überprägten Räumen gehört, gibt es aber auch noch viele andere Ballungsräume in Deutschland, die ebenfalls sehr hohe Anteile anthropogener Bodenüberprägungen aufweisen.

Aus URBIS-ER sind Bodeninformationskarten abgeleitet worden:

a) Klimabedingter Bodenwasserhaushalt

Der Bodenwasserhaushalt umfasst viele Aspekte. Erstellt wurden Karten zur pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität der Böden und zur Sickerwasserrate. Diese Bodenkennwerte tragen wesentlich zu einer Abschätzung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildungsraten und zur Beurteilung des Bodens als Ausgleichskörper im Wasserhaushalt (gemäß BBodSchG), unter dem Einfluss des Klimawandels, bei.

Die Karten verdeutlichen, dass sich insgesamt gesehen durch die anthropogenen Bodenüberprägungen die pflanzenverfügbaren Wasserspeicherleistungen deutlich reduziert haben und die Sickerwasserraten angestiegen sind. Beides wirkt sich negativ hinsichtlich der Robustheit der Böden auf die zu erwartenden Veränderungen des Klimawandels in der Region aus (trockenere Sommer bedürfen einer hohen nutzbaren Feldkapazität der Böden und feuchtere Winter lassen die Sickerwasserraten und damit die Grundwasserstände weiter ansteigen, was in einem so dicht besiedelten Raum wie der Emscherregion einige Probleme birgt.

b) Potenzielle Kühlleistungen der Böden

Die neu entwickelte Karte dient dazu, Bodenraumeinheiten zu erkennen und zu verorten, auf denen die potenziellen Kühlleistungen besonders gut oder schlecht ausgeprägt sind. Böden mit hohen Kühlleistungspotenzialen sollten in städtischen Räumen mit Überwärmungsproblemen von Bebauung freigehalten und zur Kühlung genutzt werden. Böden mit geringen Kühlleistungen sind, sofern sie zuvor bereits stark anthropogen überprägt wurden, Potenzialflächen, um der innerstädtischen Überwärmung durch Verbesserung dieser Böden auf nachhaltige Art entgegenzuwirken (z.B. für Ausgleichsmaßnahmen).

Böden mit hohen Kühlleistungspotenzialen weisen zumeist eine geringe Sickerwasserbildung auf. In städtischen Ökosystemen ist eine geringe Sickerwasserbildung auf Flächen erwünscht, die Schadstoffe enthalten, welche nicht ins Grundwasser gelangen sollten. Durch den Klimawandel bedingt kann die Grundwasserneubildung in Teilgebieten steigen und negative Auswirkungen haben (z.B. Kellervernässungen). Kann das Niederschlagswasser zu größeren Anteilen im städtischen Raum in entsprechend geeigneten oder auch speziell dafür aufgebauten Böden zwischengespeichert und mittels Pflanzen verdunstet werden, würden drei Probleme gemindert: die innerstädtische Überhitzung, die Schadstoffverlagerung in das Grundwasser und steigende Grundwasserstände.

Für das Testgebiet Bottrop zeigt sich, dass Bodenraumeinheiten mit mittleren bis sehr hohen potenziellen Kühlleistungen kaum noch auftreten. Etwas höhere Anteile an kühlleistungsstarken Böden sind noch im nördlichen Stadtgebiet entlang der dort noch oberflächlich fließenden Bäche zu finden. Der überwiegende Teil des Testgebietes zeigt, bedingt durch die mächtigen Aufschüttungen (Kappung der Grundwasseranschlüsse der Böden) und die urban/industriellen Bodenraumeinheiten nur noch geringe bis mittlere potenzielle Bodenkühlleistungen. Auch im Testgebiet Roßbach sind die potenziellen Bodenkühlleistungen durch die urbanen Bodenüberprägungen deutlich reduziert.

Hinzu kommen hohe Versiegelungsanteile. Beides bedingt dann, zusammen mit der oft auch schlechten Belüftungssituation, die Ausbildung der städtischen Hitzeinseln.

Um den Wärmebildungseffekt durch die geringe Verdunstung von den versiegelten Flächen zumindest etwas auszugleichen, bedarf es in den offenen Bodenflächen stark versiegelter Gebiete Böden, die zur Zeit der Ausbildung der Hitzeinseln in den Sommermonaten gespeichertes Wasser zur Verfügung stellen können.

In einem B-Plan Gebiet in Bottrop wurde aufgrund der im *dynaklim*-Projekt erarbeiteten Ergebnisse die Planung noch einmal angepasst und die Fläche des geplanten Wohngebietes um 75 % reduziert, um die kühlleistungsstarken Böden zu erhalten.

c) Versickerungseignung der Böden

Zur Entlastung der Kanalisation und der Oberflächengewässer ist es zunehmend ein wirtschaftliches und ökologisches Ziel, das Niederschlagswasser in den natürlichen Wasserkreislauf rückzuführen.

Ziel der Bodenbewertung ist es daher, Böden zu erkennen, die physikalisch zur dezentralen Regenwasserversickerung geeignet sind, ausreichende Filter- und Pufferfunktionen zeigen, kein Freisetzungspotenzial für schädliche Stoffe aufweisen und mit Nutzungen versehen sind, die kein Schadstoffemissionspotenzial enthalten.

Die erarbeitete Karte zeigt zunächst nur die sog. physikalische Eignung der Bodenraumeinheiten zur Niederschlagswasserversickerung. Eine Verschneidung dieser Bodeninformationen mit den Filter-, Puffer- und Transformationsfunktionen der Böden sowie dem Stofffreisetzungspotenzial bei Regenwasserversickerung konnte im Rahmen dieses Projektes nicht erfolgen, da dafür noch grundlegende Bewertungsansätze entwickelt werden müssen.

Zur Einstufung der Niederschlagswasserversickerung wird für die urbanen Böden in Anlehnung an Walter et al. (1999) ein Wasserdurchlässigkeit/Luftkapazität-Ökogramm verwendet. Als maximales Wasseraufnahmevermögen wird die Luftkapazität des Bodens angesetzt. Die Karten für beide Testgebiete zeigen, dass viele der neuen Bodenraumeinheiten physikalisch betrachtet zur Niederschlagswasserversickerung geeignet sind. Die Ergebnisse zeigen auch, dass in den meisten schluff-/lehmgeprägten Bodenraumeinheiten des Untersuchungsgebietes ein erheblicher Bedarf an Schutzmaßnahmen gegen Verdichtung natürlicher wie auch urban/industrieller Böden besteht.

d) Eisenfreisetzungspotenzial der Böden

Beim beginnenden Gewässerumbau im Emschergebiet erweist sich Eisen örtlich als Problemstoff. Durch Eisenausfällungen im Gewässer (Verockerung) können die ökologischen Gewässerqualitätsziele verfehlt werden.

Eisen liegt in einigen der neuen urban/industriellen Bodenraumeinheiten in hohen Mengen vor. Mit deutlichem Abstand die höchsten Fe_t -Massen treten in der Bodenraumeinheit Bahnflächen auf.

Die erarbeitete Karte zeigt die Risikobereiche einer bodenbürtigen Eisenfreisetzung auf. Eine hohe Wahrscheinlichkeit einer Eisenmobilität in Böden besteht überall dort, wo hohe Grundwasserstände auftreten oder stauende Schichten im Boden für hohe Wassersättigungen sorgen, so dass durch die verbleibenden geringen Sauerstoffanteile in relativ kurzer Zeit reduzierende Bedingungen entstehen können. Wie sich die, oft auch im Unterboden und Untergrund hohen TOC-Gehalte, welche in einigen der neuen Bodenraumeinheiten auftreten, auf die Fe-Mobilität auswirken, muss noch untersucht werden.

Die Erkenntnisse über das Eisenfreisetzungspotenzial der Böden, und hier insbesondere der Stadtböden, sind ein weiterer Wissensbaustein über die Quellen, die eine Verockerung von Grund- und Oberflächengewässern bedingen können.

Die Auswertungen der in Abhängigkeit von der Tiefe unter GOK und den Änderungen im Jahresverlauf stehenden Fe-Konzentration im Grundwasser geben Hinweise darauf, dass auch gelöstes Eisen aus den Bodenraumeinheiten einen Anteil an den Fe-Konzentrationen im Grundwasser und in den Oberflächengewässern hat. Hierzu besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

Sollte es, wie es die Klimaprojektionen und die vorliegenden Messdaten annehmen lassen, zu höheren Jahresniederschlägen sowie zu einer Umverteilung der Niederschläge hin vom Sommer- zum Winterhalbjahr kommen, könnten sich die Redoxsysteme in einigen Bodenhorizonten so relevant ändern, dass dadurch erhöhte Eiseneinträge ins Grundwasser erfolgen.

Weiterentwicklung von URBIS-ER

URBIS-ER ist so konzipiert, dass es auf das gesamte Einzugsgebiet der Emscher ausgeweitet werden kann und weitere Stoffe, Bodenkennwerte und Bodenfunktionen in das Bewertungssystem integrierbar sind.

Der hier entwickelte Ansatz zur Erstellung und Attributierung einer urbanen Konzeptbodenkarte ist, ggf. mit Modifikationen hinsichtlich der verfügbaren Informationen, auch auf andere Siedlungsräume und für andere planerische Fragestellungen übertragbar.

Der Nutzen eines Urbanen Bodeninformationssystems Emscherraum (URBIS-ER) liegt für die Wasserwirtschaft in der Verbesserung

- der Datengrundlage (Karte der Verbreitung der Stadtböden mit einer Ableitung grundwasserqualitätsrelevanter Eigenschaften, Qualitätsbeurteilung von Stadtböden, Hintergrundbelastung);
- der Prognoseinstrumente (Grundwasserneubildung, Grundwassermodelle, Versickerungsplanung, Sickerwasserprognose (Hintergrundbelastung) im Klimawandel);
- der Risikoabschätzung durch den Klimawandel (erhöhtes Potenzial der Schadstofffreisetzung, Grund- und Oberflächenwasserqualität);
- der Chancenerkennung und Maßnahmenplanung (Nutzung der Kühlleistungen der Böden für ein besseres Stadtklima = Reduzierung der Grundwasserneubildung).

Im Emscherraum ist fast flächendeckend eine neue urban/industrielle Bodenlandschaft entstanden. Durch die weiterhin zunehmende Versiegelung und anthropogene Überprägung der verbliebenen naturnahen Böden (z.B. Bodenabgrabungen und -überschüttungen, Bodenverdichtung) nimmt deren Flächenanteil auch aktuell noch ab. Die Bodenneuanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen liegt nach wie vor weit oberhalb der politisch angestrebten Ziele.

Es wird dringend empfohlen, die noch vorliegenden Reste der naturnahen Böden zeitnah unter Schutz zu stellen. Sie sind letzte kleine Inseln der ursprünglichen (Boden-)Landschaft und können im Emscherraum als Archive der Naturlandschaft betrachtet werden.

Der Emscherraum ist wie wohl kaum ein anderes Gebiet in Deutschland prädestiniert dafür, die Wirkung des Klimawandels auf urbane Böden und Bodenraumeinheiten zu erfassen, um hieraus die notwendigen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel abzuleiten.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Ad-hoc-AG Boden (2003): Mittlere jährliche Sickerwasserrate aus dem Boden (SWRj). Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte Reihe G Informationen aus den Bund/Länder-Arbeitsgruppen der Staatlichen Geologischen Dienste, Heft SG1.

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.

AK-STADTBÖDEN (1989): Empfehlungen des AK-Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die Bodenkundliche Kartierung urban, gewerblich, industriell und montan überformter Flächen (Stadtböden). Teil 1 Feldführer. Sekretariat büro für bodenbewertung, Kiel.

AK-STADTBÖDEN (1996) (HRSG.): Urbaner Bodenschutz. Springer-Verlag. Berlin – Heidelberg – New York.

AK-STADTBÖDEN (1997): Empfehlungen des AK-Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die Bodenkundliche Kartierung urban, gewerblich, industriell und montan überformter Flächen (Stadtböden). Teil 1 Feldführer. Sekretariat büro für bodenbewertung, Kiel.

ATV- A 138 (1999): Arbeitsblatt Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hrsg. GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. Entwurf November 1999, Hennef.

BBODSCHG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dez. 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert.

Blume, H.-P.; P. Felix-Henningsen (2007): Reduktosole. Handbuch der Bodenkunde 28. Erg.Lfg. 12/2007.

Bädjer, N. (2000): Zum Einfluss der Porositätsmerkmale von Stadt- und Industrieböden auf die Stoffkonzentrationen von Sickerwasser – dargestellt am Beispiel von bauschutt-, aschen-, schlacken- und schlammhaltigen Böden. Essener Ökologische Schriften, Bd. 14. Westarp-Wissenschaften. Dissertation.

Burghardt, W. (1991): Wasserhaushalt von Stadtböden. In: Schuhmacher, H. & B. Thiesmeier (Hrsg.): Urbane Gewässer. Reihe Ökologie 4, Westarp-Wissenschaften, S. 311-316.

Burghardt, W. & Hiller, D.A. (1993): Boden- und Standortuntersuchungen des ehemaligen Verschiebebahnhofs Duisburg-Hohenbudberg. Gutachten, 27 S. 1 Karte.

Burghardt, W.; Hiller, D.A.; Dornauf, Ch. & Scholten, P. (2000a): Guide Excursion A: Man modified soil. Profiles of the First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, SUITMA 2000, University of Essen.

Burghardt, W.; Höke, S.; Bädjer, N.; Dornauf, Ch.; Kuylaars, K.; Scholten, P. & Conce, D. (2000b): Guide Excursion B: Soils from man-made substrates (rubble, waste, sludge, ash, slag). Profiles of the First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, SUITMA 2000, University of Essen.

Burghardt, W.; Conze, D. & Scholten, P. (2000c): The formation and occurrence of Carbonatosols on slag from iron works. In Proceedings, Vol. 1: The unknown urban soil, detection, resources and faces. First International Conference on Soils of Urban, Industrial and Mining Areas. University of Essen, Germany, July 12-18, 2000: 283-288.

Burghardt, W. & Düster, L. (2002): Exkursionsführer zum Workshop Klassifikation von Stadtböden. Arbeitskreis Stadtböden und Arbeitskreis Bodensystematik. Universität Essen 07.-09.06.2002.

Burghardt, W. & Milbert, G. (2007): Rhine-Ruhr Area. In: WRB Technosols-Stagnosols-Tour 2007 in Germany. Excursion Guide (Lehmann, A. Edi).

- Christensen, L.B. & Marcus, E. (1998): Okkerundersøgelse – Forskrifter for vedligeholdelse af okkerbelastede vandløb [Ochre investigations – Instructions for maintenance of ochre polluted streams]. Sag nr. 132-97065. Hedeselskabet Viborg.
- Damm, E.; Höke, S. & Doetsch, P. (2012): Erfassung und Optimierungspotenzial der Kühlleistung von Böden dargestellt an ausgewählten Beispielflächen der Stadt Bottrop. Bodenschutz – Erhaltung, Nutzung und Wiederherstellung von Böden. Heft 03.12: 94-98.
- Damm, E. (2011): Erfassung und Optimierungspotenzial des Kühlleistungspotenzials von Böden dargestellt an ausgewählten Wohn- und Parkflächen der Stadt Bottrop. BSC-Arbeit. RWTH-Aachen.
- David, S. & Schneider, J. (2008): Bodenbewertung mit MeMaS_urban – die Funktion „Wasserhaushalt“. In: Beiträge Diskussionsforum Bodenwissenschaften. Funktionsbestimmung urbaner Böden im kommunalen Flächenmanagement, Heft 9, S. 69-80.
- DIN EN 12457-4 (2003): Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser. Gewinnung, Extraktion/Elution mobiler oder mobilisierbarer Fraktionen (HBU 3.2.2.6 g).
- DIN EN ISO 19115: Geoinformation - Metadaten (ISO 19115:2003); Englische Fassung EN ISO 19115:2005.
- DIN38414-4 (1984): Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser. Gewinnung, Extraktion/Elution mobiler oder mobilisierbarer Fraktionen (HBU 3.2.2.6 a)
- DIN 19529 (2009): Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff- Verhältnis von 2l/kg. Gewinnung, Extraktion/Elution mobiler oder mobilisierbarer Fraktionen (HBU 3.2.2.6 c)
- DIN19528 (2009): Elution von Feststoffen – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen. Gewinnung, Extraktion/Elution mobiler oder mobilisierbarer Fraktionen (HBU 3.2.2.6 b).
- DMT/EG (1966-1968): Wassergewinnung und Lagerung von Abfallstoffen. Kartenwerk. DMT GmbH & Co. KG/Emschergenossenschaft (Hrsg.), Essen.
- Dütemeyer, D. & Kuttler, W. (2011): Gegen die Hitze in Stadtquartieren. Kühle Luft und warme Böden. Vortrag E.4.3. Verbesserung des Stadtklimas. Session 3.2 im *dynaklim*-Symposium November 2011 (BMBF-Projekt *dynaklim* im Klimzug-Verbund).
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Merkblätter 238.
- GLA (2000): Stoffbestand, Eigenschaften und räumliche Verbreitung urban-industrieller Böden. Ergebnisse aus dem Projekt Stadtbodenkartierung Oberhausen-Brückentorviertel. Scriptum Arbeitsergebnisse aus dem Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen, Heft 7.
- Häckel, H. (2005): Meteorologie. UTB-Verlag.
- Harlaß, R. (2008): Verdunstung in bebauten Gebieten. Dissertation. Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden.
- Harnischmacher, S. (2010): Digitale Höhenmodelle (für Haltern, Wesel, Drevenack, Dorsten, Marl, Recklinghausen, Datteln, Lünen, Hamm, Rheinberg, Dinslaken, Bottrop, Gelsenkirchen, Herne, Dortmund, Kamen, Unna, Moers, Duisburg, Mülheim, Essen, Bochum) basierend auf den Blattsschnitten der Preußischen Neuaufnahme 1892.
- Heinrich, A. (1987): Geologie und Vorgeschichte Bottrops. Hrsg. Historische Gesellschaft Bottrop.
- Helmes, T. (2004): Urbane Böden – Genese, Eigenschaften und räumliche Verteilungsmuster – Eine Untersuchung im Stadtgebiet Saarbrücken. Dissertation. Universität Saarbrücken.
- Herrmann, S. (1997): Eignung anthropogen beeinflusster Waldstandorte im Essener Norden für Ersatzmaßnahmen im Sinne des Landschaftsgesetzes NRW. Diplomarbeit. Universität GHS Essen.

- Hiller, D.A. (1996): Merkmale und chemische Eigenschaften urban-industriell beeinflusster Böden des Ruhrgebiets. Habilitationsschrift, Universität GH-Essen.
- Hiller, D.A. & Meuser, H. (1998): Urbane Böden. Springer-Verlag. Berlin – Heidelberg – New York.
- Höke, S.; Burghardt, W. & Hannoschöck, E. (2000): Guide Excursion D: Extreme contaminated soils. Soils as sources of fine dust (PM10). First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and mining Areas, SUITMA 2000, University of Essen.
- Höke, S. (2003): Identifizierung, Herkunft, Mengen und Zusammensetzung von Exstäuben in Böden und Substraten des Ruhrgebiets. Essener Ökologische Schriften, Bd 20. Westarp-Wissenschaften. Dissertation.
- Höke, S. (2009): Weiterentwicklung und Validierung der Funktionsbewertung für urbane Böden. In: Rück, F; von Dressler, H.; Höke, S.; Rolf, M.; Thierer, K.; David, S.; Schneider J. (2009): Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen. Endbericht. BMBF REFINA-Forschungsvorhaben, Förderkennzeichen 0330728.
- Höke, S.; Denneborg, M. & Kaufmann-Boll, C. (2011): Klimabedingte Veränderung des Bodenwasser- und Stoffhaushaltes und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Emscher. *dynaklim*-Publikation No. 11.
- Höke, S.; Kaufmann-Boll, C. & Lazar, S. (2011b): Environmental impact of urban soil consumption. URBAN Soil Management Strategies, Report EU / City of Stuttgart. Projekt-No 6.56.
- Höke, S.; Kaufmann-Boll, C. & Denneborg, M. (2012): Handlungsempfehlung zur Umlagerung von Böden mit naturbedingten TOC-Gehalten > 1 Masse- % im Unterboden und Untergrund im Emscher-Lippe-Gebiet. Abschlussbericht. Im Auftrag von Emschergenossenschaft / Lippeverband.
- Horn, R. & Taubner, H. (1997): Wasser- und Lufthaushalt. In: Blume, H.-P. & Schleuss, U. (Hrsg.) (1997): Bewertung anthropogener Stadtböden. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde. Kiel.
- ISO/TS 19139: Geographic information -- Metadata -- XML schema implementation. 2007.
- Jeschke, D.; Kiehl, K. & Höke, S. (2008): Validierung des Biotopentwicklungspotenzials urbaner Böden anhand pflanzenökologischer Untersuchungen. In: Beiträge Diskussionsforum Bodenwissenschaften. Funktionsbewertung urbaner Böden im kommunalen Flächenmanagement, H 9: 117-121, Fachhochschule Osnabrück.
- Kerth, M. (1988): Die Pyritverwitterung im Steinkohlenbergematerial und ihre umweltgeologischen Folgen. Diss. Univ. GHS Essen, Essen.
- Kirfel, N. (2010): Datenanalyse, Risiko- und Potenzialabschätzung zur Vermeidung von Verblockungen und Verockerungen bei Grundwassersanierungsanlagen zur Aufbereitung altlastenrelevanter Grundwasserschäden. Diplomarbeit.
- Kneib, W. & Bongard, B. (1992): Technosole. Charakterisierung technisch hergestellter Böden und Erarbeitung bundeseinheitlicher Kriterien für ihre Verwendung. büro für bodenbewertung. Abschlußbericht der Phase 1. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Lehmann, A.; David, S. & Stahr, K. (2008): TUSEC (Technique of Urban Soil Evaluation in City Regions) – Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogen überformter Böden. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Bd 86., Universität Hohenheim, Stuttgart.
- Makowsky, L. (2009): Bewertung der Schwermetall-Mobilität von Stadtböden aus technogenen Substraten bei Elution von Bodensäulen im Dynamischen Batchtest. Dissertation. Universität Osnabrück.
- Mansfeld, T. (2001): Mobilität und Mobilisierbarkeit von eisenkomplexierten Cyaniden. Untersuchungen in Kokereiböden und Gichtgasschlämmen. Ruhr-Universität Bochum.

- Mengede, R. (2002): Belüftungsmerkmale eines Friedhofsbodens aus steinhaltigem Lößlehm. Diplomarbeit. Universität Essen.
- Messer, J. (2008): Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa. Bericht Lippe-Wassertechnik, 60 S.
- Messer, J.; R. Ohlenbusch; M. Getta (2011): Entwicklung eines instationären Prognosewerkzeuges zur Berechnung der klimawandelbedingten Veränderungen der Grundwasserneubildung. *dynaklim*-Publikation, No. 14. Okt.2011.
- Mix-Geldern, S. (2004): Bewertung von ausgewählten Baustoffen als Bodensubstrat unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte. Diplomarbeit. Universität GHS Essen-Duisburg.
- Mückenhausen, E. & Müller, E.H. (1951): Geologisch-bodenkundliche Kartierung des Stadtkreises Bottrop i.W. für Zwecke der Stadtplanung. *Geologisches Jahrb.* Band 66, S. 179-202, Krefeld/Hannover.
- Müller, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). Arbeitshefte Boden. Heft 2004/2.
- PLAN-ZENTRUM UMWELT (2012): Anthropogen veränderte Böden in der Emscherregion – Aufbau und flächenhafte Verteilung, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Emschergenossenschaft, September 2012.
- Prange, H. (2006): Verockerung – ein unterschlagenes Problem. Verockerung als gewässerökologisches Problem – Lösungsansätze aus Dänemark. WRRL in der Praxis – Umsetzungsbeispiele aus Norddeutschland. Handout zum Seminar der GRÜNEN LIGA in Schwerin am 30. November 2006.
- Quirnbach, M.; Freistühler, E. & Papadakis, I. (2012a): Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region – Analysen zu den Parametern Lufttemperatur und Niederschlag. *dynaklim*-Publikation (in Vorbereitung), November 2012.
- Quirnbach, M.; Freistühler, E. & Papadakis, I. (2012b): Bias-Korrektur der Niederschlagsdaten aus dem Regionalen Klimamodell CLM in der Emscher-Lippe-Region – Verfahren und Ergebnisse, *dynaklim*-Publikation No. 21, März 2012.
- Renger, M. & Strebel, O. (1982): Beregnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in Niedersachsen. *Geologisches Jahrbuch Reihe F 13*, Bundesanstalt f. Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Rück, F.; Rolf, M.; Höke, S. & David, S. (2009): Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen. Endbericht. FH Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landeskultur. Osnabrück.
- Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, Heidelberg.
- Schleyer, R. & Kerndorff, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. Weinheim
- Schneider, J. (2000): Soil information for urban land use planning. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand.
- Schneider, Th. (1989): Erfassung und Beurteilung der Bodenbelastung durch Schwermetalle in Kleingärten – dargestellt an Beispielen der Stadt Bottrop. Diplomarbeit. Universität GH-Essen. Gutachter Prof. Dr. W. Burghardt.
- Schöpel, M. (1985): Die Abgänge des Steinkohlenbergbaus, Verwitterungs- und Lösungsvorgänge im Bergbau, dargestellt an Lysimeterversuchen. Diss. TU Clausthal, 148 S.
- Schrödter, H. (1985): Verdunstung: Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden.

- Stasch, D. (2004): Bodenbewertung in Stadtregionen der Alpenraumländer. Literaturstudie im Auftrag der Stadt München, Referat für Gesundheit und Umwelt.
- Vogt, A. (2002): Bodenkundliche und historische Charakterisierung eines ehemaligen Zechen- und Kraftwerkstandortes in Bochum-Wiemelshausen. Diplomarbeit. Ruhr-Universität Bochum.
- Walter, T.; Winzig, G.; Bädjer, N. & Tüselmann, J. (1999): Bewirtschaftung von Niederschlagswasser. Versickerung in Siedlungsgebieten. Teil 1: Erkundung und Bewertung von Boden und Untergrund. Landesamt für Umwelt Saarland (Hrsg.). Saarbrücken.
- Wessolek, G.; Duijnsveld, W. & Trinks, S. (2004): http://www.uni-potsdam.de/u/Geoökologie/veranstaltungen/download/hydrologietag/II_1_wessolek.pdf.
- Wichmann, H. (2000): Podsole. Handbuch der Bodenkunde 9. Erg. Lfg. 10/2000.
- Wiggering, H. & Kerth, M. (1991): Verwitterungsprozesse und Bodenbildung auf Bergehalden. In: Wiggering, H. & Kerth, M. (Hrsg.): Bergehalden des Steinkohlenbergbaus. Geologie und Ökologie im Kontext, Bd. 1, S. 85-101; Wiesbaden.
- Wirtschaftsförderung metropol Ruhr & LEG Stadtentwicklung (2009): Regionale Bodenbörse Ruhr. Phase 1 – Vorstudie. Bericht. Mülheim an der Ruhr / Dortmund, Mai 2009. http://business.metropolruhr.de/uploads/media/Regionale_Bodenboerse_Ruhr_-_Vorstudie_04.pdf
- Wolff, R. (1996): Das Infiltrationspotenzial von Stadtböden am Beispiel Hamburgs. In: Urbaner Bodenschutz, AK Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (Hrsg.), S. 69-81.
- Wolff, R. (1993): Erfassung, Beschreibung und funktionale Bewertung der Eigenschaften von Stadtböden am Beispiel Hamburgs. Hamburger Bodenkundliche Mitteilungen 21. Dissertation.

ANHANG 1

Die Profilaufnahmen erfolgten durch Bönsch & Schomers (Angewandte Bodenkunde und Umweltanalysen, Köln)

Profil 1

Lage: Oberhausen / Rechtswert 2560182; Hochwert 5705991

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Grünstreifen neben Kanalschacht zwischen Parkplätzen; Zierrasen

Historische Nutzung: Betriebsgelände der Gute-Hoffnungs-Hütte (GHH) Oberhausen

Beschreibung **Profil 1:** Anthropogener Bodenauftrag aus Löss über Bauschutt (Straßenbauscutt und Gleisbauscutt u.a.), Sand-Kiesgemisch und Aschenkomponenten (Fotos 1+2).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 30	jAh	10YR6/6, reiner Schluff, mittel humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken, schwach grusig (5 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein: Löss, Bodenskelett aus natürlichen Komponenten und Bauschutt.
- 60	yC	10YR5/4, Fein- und Mittelsand, humusfrei, Einzelkorngefüge, nicht durchwurzelt, trocken, sehr stark kiesig/ grusig (60 Vol.- % fG-gG/ fGr-gGr u. Steine). Ausgangsgestein Feinboden: natürliche Sande und Aschen (zus. 40 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: div. Bauschutt (Ziegel, Beton, Gleisbauscutt, Schlacken) und Kies (zusammen 60 Vol.- % fG-gG/ fGr-gGr und größere Steine).



Foto 1+2: Umgebung und Profil 1

Profil 2

Lage: Bottrop / Rechtswert 2564569; Hochwert 5710004

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 8 bis 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Grünfläche im Park; Zierrasen

Historische Nutzung: im Untergrund wird verschüttetes Fließgewässer (+ ehemalige Teichanlage) vermutet

Beschreibung **Profil 2:** anthropogener Bodenauftrag aus Flugsand über aufgekipptem Siedlungsbauschutt, Spülmaterial und Steinkohlenasche (Fotos 3+4).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 15	yjAh	10YR3/2, Feinsand, schwach schluffig, mittel humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken, schwach grusig (5 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein: Flugsand.
- 55	yC1	10YR3/2, Feinsand, schwach schluffig, schwach humos, Einzelkorngefüge, schwach durchwurzelt, trocken, sehr stark grusig (60 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Flugsand (40 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Siedlungsbauschutt (Ziegel, Mörtel, Glas) (60 Vol.- % fGr-gGr und größere Steine).
- 75	yC2	2,5Y5/6, mittel lehmiger Sand, humusfrei, Kohärentgefüge, schwach feucht, schwach grusig (5 Vol.- % fGr-mGr); Ausgangsgestein Feinboden: Spülmaterial (95 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Siedlungsbauschutt, (Schlacke) (5 Vol.- % fGr-mGr). Die untersten 6 cm 2,5Y3/2, schwach humos, vermutlich ehem. yjAh-Horiz.
- 120	yC3	10YR2/1, Mittelsand, feinsandig, humusfrei, Einzelkorngefüge, trocken, sehr stark grusig (60 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Hausbrandasche (40 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Hausbrandasche, etwas Siedlungsbauschutt (zus. 60 Vol.- % fGr-gGr).



Foto 3 + 4: Umgebung und Profil 2

Profil 3

Lage: Bottrop / Rechtswert 2564642; Hochwert 5711400

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand <= 8 bis 2 dm u. GOK bis 8 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: größere Brachfläche; Glatthaferwiese (randlich Brombeergebüsch) in Wohnbaugebiet

Historische Flächennutzung: möglicherweise sehr alte Sandgrube, Landwirtschaft

Beschreibung **Profil 3:** Plaggenesch über Gley aus Flugsand (Fotos 5+6).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 30	rAp	10YR2/2, Feinsand, stark humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken; kein Bodenskelett; Ausgangsgestein: Flugsand (Plaggen).
- 60	bE	10YR2/1(+4/4), Feinsand, stark humos, Einzelkorngefüge, durchwurzelt, trocken, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Feinboden: Flugsand (Plaggen).
- 90	II Gro	7,5YR4/4+4/6, Feinsand, schwach humos, Einzelkorngefüge, bis 80 cm durchwurzelt, feucht, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Feinboden: Flugsand; Hydromorphiemerkmale: deutlich ausgeprägte Rostflecken und -nester an der Profilwand vorherrschend (ca. 80 % Flächenanteil).
- 120	Gr	10YR6/2, Feinsand, humusfrei, Einzelkorngefüge, stark feucht/ ab 100 cm nass, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Feinboden: Flugsand; Hydromorphiemerkmale: fast ausschließlich gebleichte Profilfläche (> 90 %), schwach ausgeprägte Rostflecken und -nester mit geringem Flächenanteil (ca. 5 %).



Fotos 5+6: Umgebung und Profil 3

Profil 4

Lage: Bottrop Rechtswert 2567793; Hochwert 5711611

Relief: 59 m ü. NN.; ebene Fläche auf Bergbauhalde, Neigung -- %

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Bergbauhalde; Glatthaferwiese

Beschreibung **Profil 4:** Bergbauhalde mit anthropogenem Bodenauftrag aus Sand und Bauschutt (Foto 7+8).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 15	jAh	7,5YR5/4, schwach schluffiger Sand, mittel humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken, schwach kiesig (5 Vol.- % fG-gG); Ausgangsgestein Feinboden: natürlicher Sand (95 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden; Kiese (5 Vol.- %).
- 40	jAh-yC	7,5YR5/6, schwach schluffiger Sand, schwach humos, Einzelkorngefüge, durchwurzelt, trocken, schwach kiesig/ grusig (10 Vol.- % fG-gG/ fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: natürlicher Sand (90 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: natürlicher Kies, Bauschutt (zus. 10 Vol.- % fG-gG/ fGr-gGr).
- 80	yC1	10Y5/3+(4/1), schwach schluffiger Sand, humusfrei (schwach humos), Einzelkorngefüge, trocken, stark grusig (30 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: natürlicher Sand (70 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Bauschutt (Ziegel, Beton, sonstige Steine u.a.) (70 Vol.- % fGr-gGr).
- 100	yC2	2,5YR5/2, schwach schluffiger Sand, humusfrei, Einzelkorngefüge, trocken, stark grusig (30 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: natürlicher Sand/ Spülschlamm (?) (70 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Bauschutt (Ziegel, Beton, Steine u.a.) (30 Vol.- % fGr-gGr); Hydromorphiemerkmale: schwach ausgeprägte Rostflecken mit geringem Flächenanteil (ca. 2 % Fläche) an der Profilwand.
- 110	yC3	10YR3/1+7,5YR5/6, Feinsand; humusfrei, Einzelkorngefüge, trocken, extrem stark grusig (70 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Bergematerial Steinkohle, Bauschutt, Schlacke (30 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: vorwiegend Bergematerial Steinkohle, beigemengt: Bauschutt, Schlacke, Kohle (zus. 70 Vol.- % fGr-gGr); Substrat weist muffigen Geruch auf.



Fotos 7+8: Umgebung und Profil 4

Profil 5

Lage: Bottrop / Rechtswert 2564793; Hochwert 5711058

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Kinderspielplatz innerhalb Wohnbaufläche; Zierrasen

Beschreibung **Profil 5:** Anthropogener Bodenauftrag aus fluviatilen Sand/Sandlöss über aufgekipptem Siedlungsbauschutt und Straßenbauschutt (Fotos 9+10).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 15	yjAh	10YR4/3, schwach lehmiger Feinsand, mittel humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken, schwach grusig (10 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein: fluviatiler Sand.
- 35	yC1	10YR5/6, sandiger Schluff, schwach humos, Einzelkorngefüge, durchwurzelt, trocken, stark grusig (40 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Sandlöss (60 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Siedlungsbauschutt (Ziegel, Beton, Mörtel, Glas (zus. 40 Vol.- % fGr-gGr und größere Steine).
- 75	yC2	10YR3/1, Feinsand, humusfrei, Einzelkorngefüge, schwach feucht, extrem grusig (90 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: fluviatiler Sand (10 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Straßen- und Siedlungsbauschutt, untergeordnet Bergematerial Steinkohle (Gleisschotter, Ziegel, Bitumen, Schluffsteine) (zus. 90 Vol.- % fGr-gGr und größere Steine).
- 100	yC3	10YR6/6+5/4, sandiger Schluff / sandig-lehmiger Schluff, , humusfrei, Einzelkorngefüge, schwach feucht, stark grusig (30 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Sandlöss (70 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Siedlungs- und Straßenbauschutt (Ziegel, Bitumen, Beton, Gleisschotter) (zus. 30 Vol.- % fGr-gGr und größere Steine).



Fotos 9+10: Umgebung und Profil 5

Profil 6

Lage: Bottrop / Rechtswert 2566693; Hochwert 5711559

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Sportplatz, randlicher Bereich; Wiesenvegetation; „Oberboden“ mit Kieselrot-Schlacke des angrenzenden Spielfeldes

Beschreibung **Profil 6:** Anthropogener Bodenauftrag aus Schlacken und Aschen über Plaggensch (Foto 11+12).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 10	jyAh	10YR2/2, mittelsandiger Feinsand, mittel humos, Einzelkorngefüge, durchwurzelt, trocken, mittel grusig (15 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein: fluviatiler Sand, Kieselrot-Schlacke und Asche.
- 30	yC	10YR2/1, grobsandiger Mittelsand, schwach humos, Einzelkorngefüge, kaum durchwurzelt, trocken, extrem stark grusig (80 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Steinkohlenasche u. Schlacke (20 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Steinkohlenasche, Schlacke, Glas u.a. (80 Vol.- % fGr-gGr).
- 40	jAh	10YR4/2, Feinsand, mittel humos, Einzelkorngefüge, trocken, sehr schwach grusig (< 2 Vol.- % fGr); Ausgangsgestein Flugsand (98 Vol.- %).
- 85	jC	10YR5/6+7/4, Feinsand (sehr schwach humos), Einzelkorngefüge, trocken, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Flugsand; Hydromorphiemerkmale: deutlich ausgeprägte Rostnester an der Profilwand mit hohem Flächenanteil (ca. 10 % Fläche).
- 110	II Ap	10YR3/2, Feinsand, stark humos, Einzelkorngefüge, trocken, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Flugsand.
- 130	bE	10YR4/4, Feinsand, mittel humos, Einzelkorngefüge, trocken, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Flugsand.



Fotos 11+12: Umgebung und Profil 6

Profil 7

Lage: Bottrop Rechtswert 2562810; Hochwert 5708950

Relief: 69 m ü. NN; ebene Fläche, Neigung -- %

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Parkanlage Laubwald; Gehölzungswuchs aus Ahorn und Pappeln

Beschreibung **Profil 7:** Anthropogener Bodenauftrag aus Sand und Bauschutt über Spülmaterial (Fotos 13+14).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 50	yjAh	10YR3/2, mittelsandiger Feinsand, stark humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken, stark grusig (30 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: natürlicher Sand (70 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden; Bauschutt (Ziegel, Holz, Plastik u.a.) und Kiese (zus. 30 Vol.- %).
- 70	yC1	5YR5/8, sandig-toniger Lehm, humusfrei, Kohärentgefüge, gut durchwurzelt, trocken, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Feinboden: Spülmaterial; Hydromorphiemerkmale: schwach entwickelte, grüngrau gefärbte Nester und Fließstrukturen mit hohem Flächenanteil (bis 10 %) an der Profilwand, z.T. an Wurzelbahnen; in 65-70 cm Tiefe 2 cm mächtiges Band aus Eisen-Konkretionen (5YR2/4).
- 100	yC2	7,5Y6/8, schwach sandiger Lehm, humusfrei, Köhärengefüge, trocken, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Feinboden: Spülmaterialmaterial.
- 120	yC3	5Y4/3, mittel sandiger Lehm und schwach lehmiger Feinsand, humusfrei, Köhärengefüge, trocken, kein Bodenskelett; Ausgangsgestein Feinboden: Spülmaterialmaterial; Hydromorphiemerkmale (?): fast ausschließlich grüngrau gefärbte Profilwand (> 90 % Flächenanteil).



Fotos 13+14: Umgebung und Profil 7

Profil 8

Lage: Dortmund / Rechtswert 2596991; Hochwert 5709598

Relief: m ü. NN.; ebene Fläche, Neigung -- %

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Brachfläche; Hochstaudenflur/ Wiese, Oberboden wurde aufgeschoben

Beschreibung **Profil 8:** Anthropogener Bodenauftrag aus Bauschutt, Aschen und Schlacken (Fotos 15+16).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 20	yjAh	10YR4/2, reiner Schluff, mittel humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken, schwach grusig (5 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Löss; Ausgangsgestein Grobboden: Bauschutt.
- 65	yjC	10YR5/6, reiner Schluff/ schwach toniger Schluff, humusfrei, Einzelkorngefüge, bis 50 cm durchwurzelt, trocken feucht, schwach grusig (5 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Löss; Ausgangsgestein Grobboden: etwas Bauschutt, etwas Asche.
- 100	yC	10YR4/3+4/1+7/4, Fein-, Mittel- und Grobsand/ mittel toniger Schluff und sandig-toniger Lehm, schwach humos, Einzelkorngefüge, trocken, stark grusig (40 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Bauschutt, Asche und Schlacke (40 Vol.- %)/ Lösslehm (20 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Bauschutt (Ziegel, Schamottsteine, Bitumen u.a.) Steinkohle-Asche, Metall-Schlacke (zus. 40 Vol.- % fGr-gGr).



Fotos 15+16: Umgebung und Profil 8

Profil 9

Lage: Dortmund / Rechtswert 2595710; Hochwert 5709158

Grundwasser/Stauwasser: mittlerer GW-Stand > 20 dm u. GOK

Aktuelle Flächennutzung: Park mit weitläufigen Zierrasenflächen

Beschreibung **Profil 9:** Anthropogener Bodenauftrag aus Bauschutt (Fotos 17+18).

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung
- 10	jAh	10YR4/2, reiner Schluff, mittel humos, Einzelkorngefüge, gut durchwurzelt, trocken, sehr schwach grusig (2 Vol.- % fGr); Ausgangsgestein Feinboden: Löss.
- 40	yjC	10YR5/6, mittel toniger Schluff, humusfrei, Einzelkorngefüge, bis 40 cm durchwurzelt, trocken, mittel grusig (20 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Lösslehm (80 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: überwiegend Bauschutt (Ziegel, Zement, sonstige Bausteine) untergeordnet Schlacke u. Kohle (zus. 20 Vol.- % fGr-gGr).
- 70	yC	5YR4/2+4/4, Fein-, Mittel- und Grobsand, humusfrei, Einzelkorngefüge, trocken, sehr stark grusig (70 Vol.- % fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Bauschutt (Zersatz von Ziegeln) (30 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Bauschutt (Ziegel) (70 Vol.- % fGr-gGr).
- >70	II ICv	10YR5/4+2,5YR4/4, sandig-toniger Lehm/ sandig-lehmiger Schluff, Einzelkorngefüge, schwach feucht, schwach kiesig/ grusig (5 Vol.- % fG-gG/ fGr-gGr); Ausgangsgestein Feinboden: Flusslehm (95 Vol.- %); Ausgangsgestein Grobboden: Flusskies (5 Vol.- % fG-gG/ fGr-gGr).



Fotos 17+18: Umgebung und Profil 9

Ansprechpartner

Jens Hasse
hasse@fiw.rwth-aachen.de

Birgit Wienert
wienert@fiw.rwth-aachen.de

Projektbüro *dynaklim*

Mozartstraße 4
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 38

www.dynaklim.de