Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen

Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

Teil III: Erfassung von und Umgang mit überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen

LANUV-Arbeitsblatt 17

www.lanuv.nrw.de

Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten

Teil III: Erfassung von und Umgang mit überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen

LANUV-Arbeitsblatt 17

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2011

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de

Das vorliegende LANUV-Arbeitsblatt basiert auf einem Gutachten der ahu AG in Aachen und der Bergischen Universität Wuppertal, das im Auftrag des LANUV erstellt wurde.

Autoren: Dr. Silvia Lazar, Carolin Kaufmann (ahu AG Aachen)
Carsten Schilli, Prof. Dr. Ing. agr. Jörg Rinklebe, Tina Frohne (Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Boden- und Grundwassermanagement)

Anhang 1: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)

Redaktion: Jörg Leisner-Saaber, Dr. Heinz Neite (LANUV NRW)

Bildnachweise: Topografische Karten © Geobasisdaten Land NRW, Bonn

Titelfoto: Dr. Heinz Neite
Fotos S. 9: Carsten Schilli

ISSN: 1864-8916 LANUV-Arbeitsblätter

Informationsdienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einführung 5

2 Grundlagen und Vorgehensweise zur räumlichen Darstellung der Bodengehalte in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen 7

2.1 Einflussfaktoren für Schadstoffbelastungen in Auenböden 7
2.2 Methodenentwicklung in Testgebieten 8
2.3 Arbeitsschritte 10

3 Datenrecherche 14

4 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes 23

4.1 Mittelmaßstäbige Abgrenzung (1 : 25.000 – 1 : 50.000) 24
4.2 Großmaßstäbige Abgrenzung (1 : 1.000 – 1 : 5.000) 25

5 Bildung von Raumeinheiten 27

5.1 Faktoren zur Bildung der Raumeinheiten 27
5.2 Abgrenzung von Gebieten mit ähnlichen Schadstoffgehalten 30
5.2.1 Arbeitskarte „Flussabschnitte“ 30
5.2.2 Arbeitskarte „Virtuelle Gewässeroberfläche“ 32
5.2.3 Arbeitskarte „Gebiete gleicher relativer Geländehöhe über dem Gewässer“ 35
5.2.4 Arbeitskarte „Bodenartenhauptgruppen“ 39
5.2.5 Arbeitskarte „Aktuelle Landnutzung“ 43
5.2.6 Arbeitskarte „Deichvor- und Deichhinterland“ 44
5.2.7 Arbeitskarte „Aufschüttungen und Abgrabungen“ 45
5.3 Definieren von Ausschluss- und Bewertungsflächen 46
5.4 Erstellen einer vorläufigen Karte der Raumeinheiten 47
5.5 Ergänzende Raumanalysen 49

6 Probenahme und Analytik 51

6.1 Messnetzplanung 51
6.2 Entnahme von Bodenproben und Analytik 52
6.3 Plausibilitätsprüfung und Validierung der Messdaten 53

7 Datenauswertung und Prüfung der Raumeinheiten 54

7.1 Datenvorbereitung 54
7.2 Prüfung und Anpassen der Raumeinheiten an die Messergebnisse 54
7.3 Vertiefende statistische Auswertungen zu Einflussfaktoren 63
7.4 Ableiten von statistischen Kenngrößen für Schadstoffgehalte in Raumeinheiten 66

8 Erstellen der Bewertungskarte anhand von Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten 68

8.1 Zuweisung statistischer Kenngrößen und Definition von Ober- und Untergrenzen 68

8.2 Einordnung der statistischen Kenngrößen in das Konzept der Bewertungskarte 70

8.3 Kartographische Darstellung der Ergebnisse 73

9 Ableitung des Handlungsbedarfs..... 75

10 Ausblick 77

11 Literatur..... 78

Anhang 1: Abfall- und bodenschutzrechtliche Anforderungen zum Umgang mit belastetem Bodenmaterial 82

Anhang 2: Anwendung geostatistischer Methoden in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen..... 92

1 Einführung

Zur Ermittlung bzw. Erfassung von Verdachtsflächen auf „schädliche Bodenveränderungen“ können nach § 5 Abs. 2 LBodSchG NRW Digitale Bodenbelastungskarten (BBK) erstellt werden. In den BBK wird die Belastung von Oberböden mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen flächenhaft dargestellt. Sie werden in der Regel für das Gebiet einer Stadt oder eines Kreises erarbeitet. Für die Bearbeitung der BBK in den Außen- und Siedlungsbereichen stehen Arbeitshilfen zur Verfügung (LUA 2000b, LANUV 2007b). Insgesamt liegen in NRW bereits mehr als 40 BBK vor, die etwa die Hälfte der Landesfläche abdecken.

Aus den Ergebnissen der Bearbeitung zahlreichen BBK in den Außenbereichen sowie aus weiteren Untersuchungen liegen Erkenntnisse über Anreicherungen persistenter Schadstoffe (Schwermetalle, persistente organische Stoffe) in verschiedener Bach- und Flussauen in Nordrhein-Westfalen, insbesondere aus dem Sauerland, dem Siegerland, dem Bergischen Land, der Nordeifel sowie dem Rhein-Ruhr-Gebiet vor. Demgegenüber weisen Flussauen im Münsterland (z.B. Ems) oder in Ostwestfalen (z.B. Weser) nur geringere Belastungen dieser Stoffe auf.

Innerhalb der Überschwemmungsgebiete einzelner Fließgewässer in den o.g. Regionen des Landes wurden Anreicherungen der genannten Schadstoffe in Böden ermittelt, die teilweise flächenhaft Maßnahmenwerte der BBodSchV überschreiten. Ursachen hierfür finden sich in der Umlagerung geogen bedingt schwermetallhaltiger Sedimente ebenso wie in anthropogen bedingten Schadstoffimmissionen in Fließgewässer, die jedoch überwiegend in der Vergangenheit stattgefunden haben. Betroffen sind in der Regel landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Grünland- und Ackerstandorte. In diesen überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen bestehen Anhaltspunkte für das Vorliegen schädlicher Bodenveränderungen, die bodenschutzrechtlich zu beurteilen sind (vgl. hierzu auch das LUA-Merkblatt 55, Kap. 5, LUA NRW 2006a). Hier sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich, die vorrangig auf Nutzungsempfehlungen und –beschränkungen zielen und im Einvernehmen mit der Landwirtschaft durchzuführen sind. Eine Sanierung oder ein Bodenaustausch auf diesen Flächen ist dagegen nicht erforderlich.

Innerhalb dieser überschwemmungsbedingten Belastungsbereiche ist häufig mit einer erheblichen räumlichen Heterogenität der Schadstoffverteilung in Böden zu rechnen, die unter anderem von der Fließdynamik, der aktuellen Flächennutzung, den Höhenverhältnissen oder den Bodeneigenschaften abhängig ist. Daher ist in diesen Bereichen eine flächenhafte Prognose der Bodengehalte, wie sie in Nordrhein-Westfalen mit den o.g. Methoden der BBK zur Verfügung steht, bisher nicht befriedigend möglich. Insbesondere wird der Maßstab der BBK-Außenbereich von 1 : 50.000 bis 1 : 20.000 (LUA NRW 2000b) der kleinräumigen Heterogenität in Auenbereichen nicht gerecht. Für die räumliche Darstellung der stofflichen Bodenbelastung in Auenbereichen und deren Bewertung ist aus Sicht des Bodenschutzvollzugs ein größerer Maßstab erforderlich (1 : 1.000 bis 1 : 5.000).

Zur Beurteilung des Gefahrenverdachts ist zurzeit ein einheitliches Vorgehen der Unteren Bodenschutzbehörden nicht gegeben. In einigen Fällen wurden statistische Kenngrößen

ermittelt und auf eine Regionalisierung der Schadstoffverteilung innerhalb dieser Gebiete verzichtet, während in anderen Fällen flächenhafte Interpolationen mit unterschiedlichen Ergebnissen durchgeführt wurden.

Vor diesem Hintergrund hat das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW) den vorliegenden Leitfaden erarbeiten lassen, in dem Methoden zur räumlichen Erfassung der Schadstoffbelastung in Böden überschwemmungsbedingter Belastungsbereiche und Umgang damit beschrieben werden.

Der Leitfaden richtet sich insbesondere an Bodenschutzbehörden, Landwirtschaftsberatern und Planungsbüros. Er kann auch Wasserbehörden, die bei Renaturierungsmaßnahmen oder anderen Maßnahmen der Wasserwirtschaft tätig werden, Hilfestellung bei der Erfassung und dem Umgang mit Bodenbelastungen in überschwemmungsbeeinflussten Bereichen liefern.

2 Grundlagen und Vorgehensweise zur räumlichen Darstellung der Bodengehalte in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen

2.1 Einflussfaktoren für Schadstoffbelastungen in Auenböden

Schadstoffanreicherungen in Auen werden durch das Zusammenspiel verschiedener Einflussfaktoren verursacht. Für eine räumliche Darstellung von Schadstoffgehalten in Auenböden sind daher Raumeinheiten mit vergleichbaren Eigenschaften notwendig (Rinklebe et al. 2009, Wälder et al. 2008 und 2009), die die folgenden Einflussfaktoren in Auenökosystemen abbilden:

- Flussgeschichte (insbesondere hydrologische Extremereignisse, Unfälle, Schadstoffeinleitungen in der Vergangenheit, Schadstoffpotenzial im Einzugsgebiet, Renaturierungsmaßnahmen),
- Relief und Gefälle,
- Überschwemmungshäufigkeit und -dauer,
- Fließgeschwindigkeit des Gewässers,
- Sedimentationsverhalten und
- Flächennutzung.

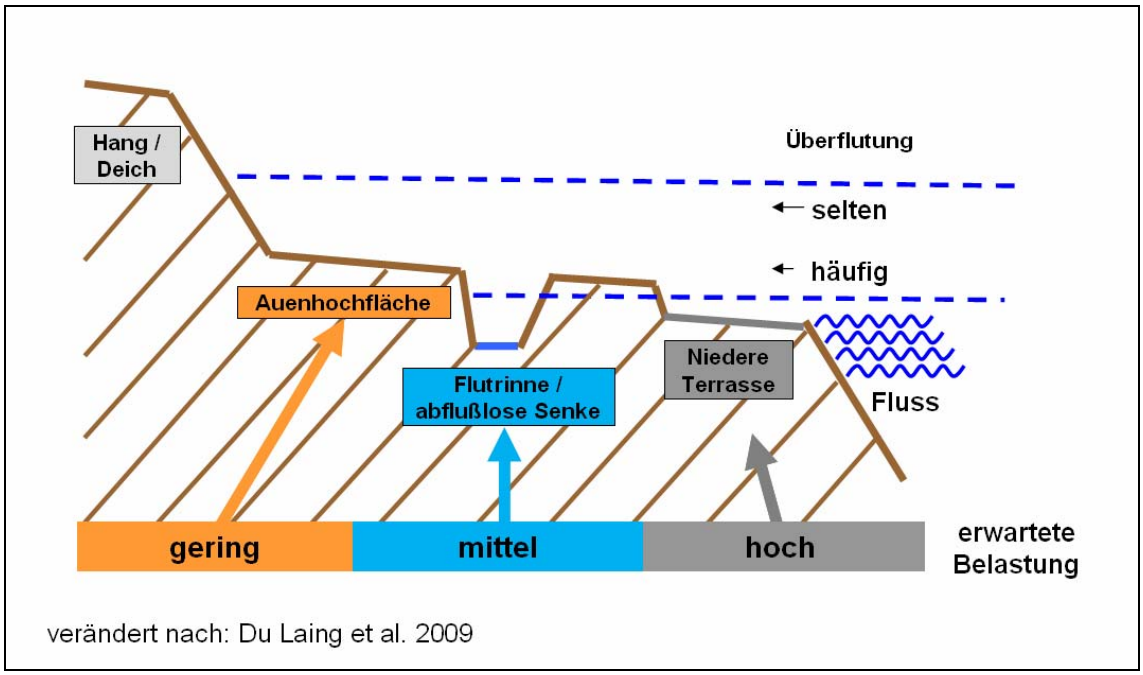


Abbildung 1: Einfluss des Reliefs auf die Schadstoffbelastung in Abhängigkeit von der Überflutungshäufigkeit

Die langjährigen Erfahrungen der Schadstoffforschung in Auenböden belegen, dass die Topographie einen Schlüsselfaktor für eine detaillierte Darstellung der Schadstoffkonzentrationen darstellt (vgl. Abbildung 1); insgesamt jedoch liegt ein komplexes Wirkungsgefüge von Relief und Morphologie, Erosion/Sedimentation/Fließgeschwindigkeit und weiteren Prozessen vor (Rinklebe 2004, Rinklebe et al. 2005, 2007, 2009, DuLaing et al. 2009). Der Schadstoffgehalt in Auenböden schwankt kleinräumig häufig erheblich (Gaida & Radtke 1993, Steinert & Pohl 2000, Rinklebe et al. 2007, 2009, Marschner et al. 2008, Wälder et al. 2009). Das (Mikro-)Relief[1] ist hierbei ein entscheidender Faktor (z. B. Franke & Rinklebe 2001, Rinklebe et al. 2001, Rinklebe & Franke 2003).

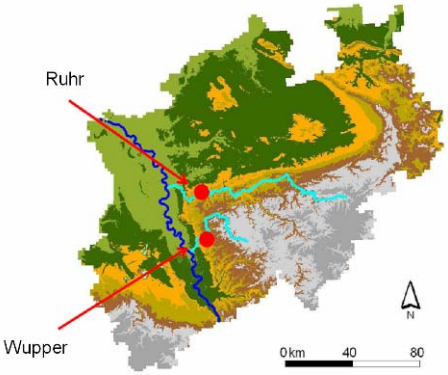
2.2 Methodenentwicklung in Testgebieten

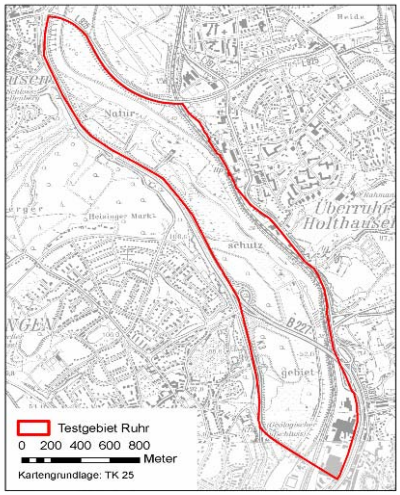
Die im vorliegenden Leitfaden dargestellte Vorgehensweise wurde anhand von zwei Testgebieten entwickelt, die zwei typische Mittelgebirgsfließgewässer in Nordrhein-Westfalen repräsentieren (vgl. Tabelle 1 und Abbildung 2). Sowohl an der Ruhr als auch an der Wupper sind Schadstoffbelastungen der Auenböden bekannt. Für beide Testgebiete liegen Informationen aus Digitalen Bodenbelastungskarten vor. Die Methodenentwicklung erfolgte anhand von Daten zu Schwermetall- und Arsengehalten in Oberböden.

Tabelle 1: Fließgewässer der Testgebiete (Quelle: MUNLV NRW 2005)

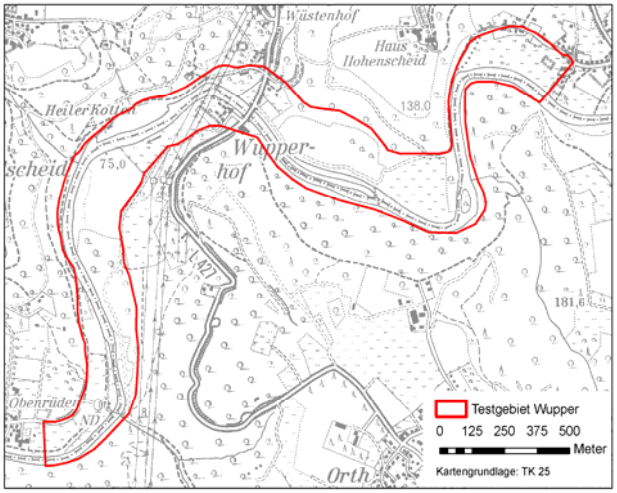
	Ruhr	**Wupper**
Gewässertyp	großer Fluss des Mittelgebirges	silikatischer, fein- bis grobmaterialreicher Mittelgebirgsfluss
Einzugsgebiet	4.485 km²	814 km²
Lauflänge	219 km	115 km
Höhenlage	674 bis 17 m NN	475 bis 42 m NN
Mittleres Gefälle	0,3 %	0,4 %
Mittlerer Abfluss MQ	70,2 m³/s	15,4 m³/s
Bemerkungen zur Eignung des Testgebietes	historisch lange Industriegeschichte (Schadstoffspektrum Montanindustrie) ausgeprägte Cd- und Zn-Belastungen repräsentativer Fluss für Schadstoffbelastungen in NRW, unterschiedliche Flussbedingungen lassen sich abbilden	historisch lange Siedlungs- und Industriegeschichte ausgeprägte Schwermetall- (Cr, Cu, Hg) und As-Belastungen kleinräumig unterschiedliche Auenquerschnitte, d. h. unterschiedliche Sedimentationsbedingungen lassen sich abbilden

[1] Mit dem Mikrorelief wird die Rauhigkeit der Reliefoberfläche dargestellt (z.B. rillig, wellig, höckerig, stufig, glatt / eben).



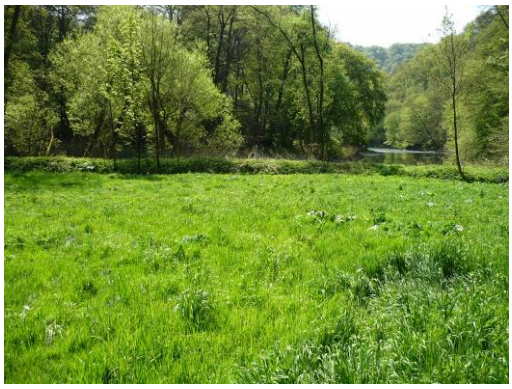


Gesamtfläche:189,4 ha / 1,89 km²
Bewertungsrelevante Fläche: 51 ha / 0,51 km ²
Gewässerlänge: 4,1 km



Gesamtfläche: 71,8 ha / 0,72 km²
Bewertungsrelevante Fläche: 30 ha / 0,30 km²
Gewässerlänge: 3,8 km

Ruhr



Wupper

Abbildung 2: Lage der Testgebiete an der Ruhr und Wupper

AUENBÖDEN UND ÜBERSCHWEMMUNGSGEBIETE – BEGRIFFE

Auenböden sind Böden der Flusstäler. Bei unregulierten Fließgewässern werden sie periodisch überflutet. Auenbereiche, die durch Deiche von der Überflutungsdynamik abgeschnitten wurden, können durch Qualmwasser (Druckwasser) beeinflusst sein. Auenböden entstehen aus Sedimenten von Fluss- und Bachauen. Sie sind durch starke Grundwasserschwankungen geprägt.

Festgesetzte **Überschwemmungsgebiete** gemäß § 76 (2) Wasserhaushaltsgesetz (WHG) bzw. § 112 Landeswassergesetz (LWG) konkretisieren die Überschwemmungsgrenzen nach Maßgabe bestimmter Jährlichkeiten und auf Grundlage geeigneter wasserwirtschaftlicher Verfahren und sind Voraussetzung für Genehmigungsvorbehalte und Gebote. Die zuständigen Behörden für die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten sind die Bezirksregierungen in NRW.

Für die Erarbeitung der **Überflutungsgebietsgrenzen** ist die DGK5 die Grundlage. Sie ergeben sich aus der Schnittlinie der Wasserspiegelhöhen für das HQ100[1] mit den natürlichen Ufern oder Deichen oder ergänzend aus dem Digitalen Geländemodell DGM5.

Das **Überschwemmungsgebiet** klammert Flächen mit bestehender Bebauung aus. Die Abgrenzung ist dort anzuordnen, wo ein Schutzbauwerk errichtet werden würde.

Die Grenzen der **hochwassergefährdeten Gebiete** ergeben sich aus der Verlängerung der örtlichen Höhen der Wasserspiegellagen über bebaute Flächen hinweg und durch Deiche und Hochwasserschutzmauern hindurch (LANUV NRW 2007a).

Durch ergänzende Informationen, wie ggf. vorhandene ältere (preußische) Überschwemmungsgebiete, historische Gewässerverläufe, Bodenkarten oder die Bodenschätzung können mögliche **potenzielle Überflutungsgebiete** gefunden werden.

In BMU/BfN 2009 wird zusätzlich der Begriff „morphologische Aue“ verwendet, der „rezente Aue“ und „Altaue“ umfasst.

2.3 Arbeitsschritte

Ziel der Bearbeitung ist es, belastete Bereiche bzw. Flächen in einem Maßstab von 1 : 5.000 bis 1 : 1.000 abzugrenzen. Dazu bietet es sich an, eine Bewertungskarte zu erstellen, in der Schadstoffbelastung der Böden in Auenbereichen räumlich differenziert dargestellt werden. Die Karte erlaubt eine Bewertung des Handlungsbedarfs zur Vorsorge oder Gefahrenabwehr gemäß BBodSchG.

Gegenstand der in Abbildung 3 beschriebenen Arbeitsschritte ist es, im Untersuchungsgebiet (quasi) homogene Raumeinheiten auszuweisen, in denen die maßgeblichen Einflussfaktoren von Schadstoffanreicherungen abgebildet werden. Ergebnis ist ein „Raumeinheitenmodell“, das die zu untersuchende Realität der Schadstoffbelastung durch die relevanten Erklärungsgrößen abbildet. Mit diesen speziell an Auenbereiche angepassten Raumeinheiten können die Schadstoffkonzentrationen in Böden innerhalb des Gebietes differenzierter als mit den BBK-Methoden für Außen- und Siedlungsbereiche dargestellt werden. Die in den einzelnen Raumeinheiten ermittelten statistischen Kenngrößen für Stoffgehalte werden zunächst in

eine räumliche Information übertragen. Für die Anwendung in der Praxis wird schließlich eine Bewertungskarte erstellt, die die Schadstoffgehalte anhand der Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV einstuft. Aus der Bewertungskarte ergibt sich der Handlungsbedarf für den Vollzug. Für eine belastbare Bewertung anhand der Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte ist es erforderlich, dass möglichst homogene Raumeinheiten mit geringer Variabilität der Stoffgehalte identifiziert werden.

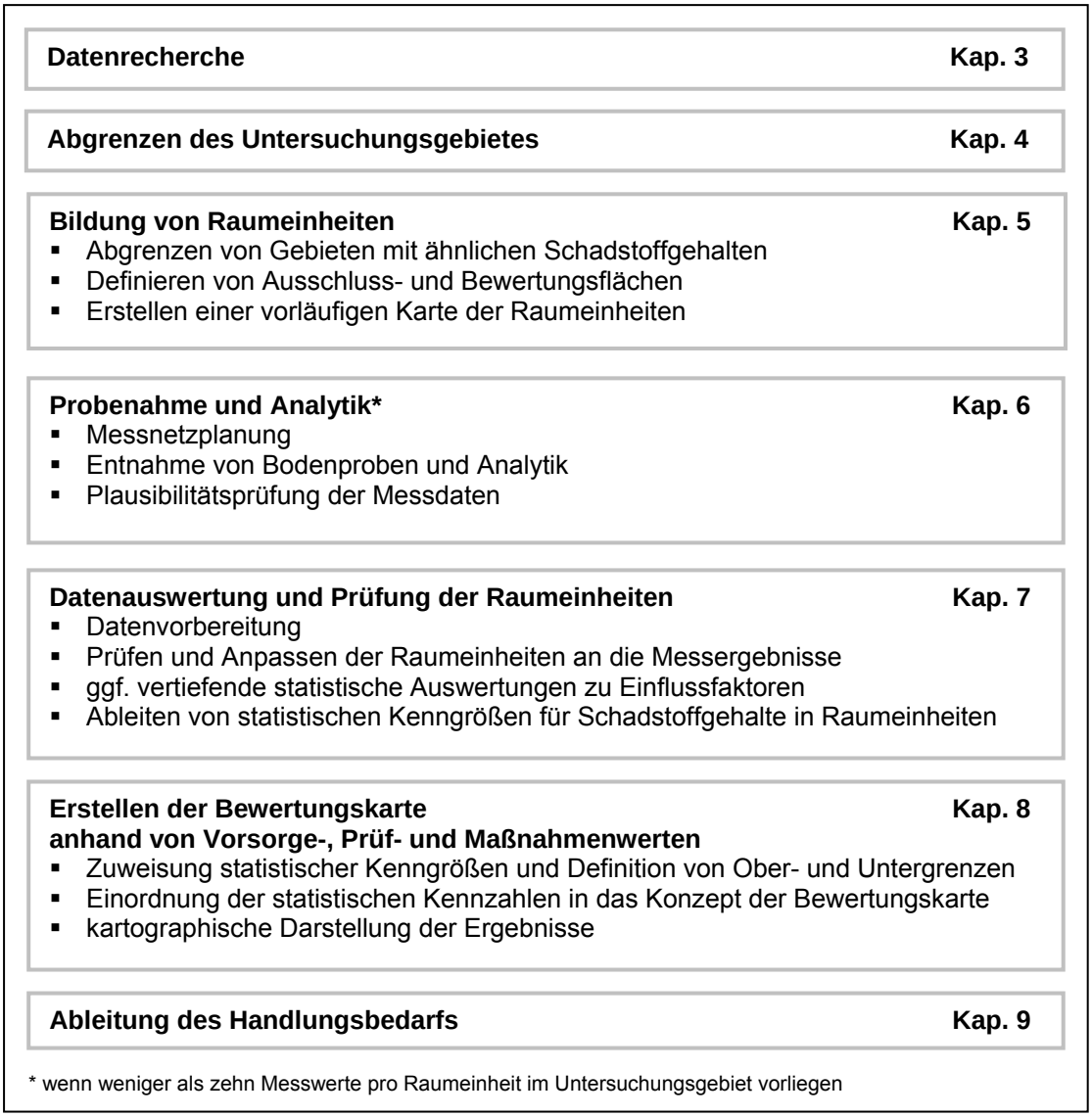


Abbildung 3: Arbeitsschritte zur räumlichen Darstellung der stofflichen Bodenbelastung in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen

Die hier dargestellte Bewertung erfolgt durch die Unteren Bodenschutzbehörden auf Kreisebene bzw. innerhalb einer kreisfreien Stadt und wird in der Regel für ein Gewässersystem oder einen ausgewählten Teil davon durchgeführt. Die Unteren Bodenschutzbehörden können hierbei entweder die Auenbereiche im gesamten Kreisgebiet betrachten oder sich auf einzelne Flussabschnitte, die höhere Schadstoffbelastungen aufweisen, beschränken.

Der Maßstab der BBK-Außenbereich von 1 : 50.000 im (LUA NRW 2000b) und der Maßstab der BBK-Siedlungsbereich von z. T. 1 : 10.000 (LANUV 2007b) werden der kleinräumigen Heterogenität fluviatiler Sedimente in Auenbereichen nicht gerecht. Daher wird für die räumliche Darstellung der stofflichen Bodenbelastung in Auenbereichen ein größtmöglicher Maßstab angestrebt. Dieser ergibt sich aus der Anwendung des jeweiligen Digitalen Geländemodells (DGM). Wird das flächendeckend für NRW vorliegende DGM5 eingesetzt, wird ein Maßstab von 1 : 5.000 erreicht. Je nach eingesetzter Datengrundlage kann der Maßstab flexibel gehandhabt werden.

Das im Leitfaden beschriebene Vorgehen ist auf die Bewertung von Oberböden ausgerichtet. Liegen Hinweise auf unterschiedliche Belastungen in verschiedenen Bodenschichten/-horizonten vor (z.B. durch Auftrag schadstoffärmerer Sedimente in jüngerer Zeit), sind diese ggf. stichprobenartig differenziert zu beproben. Soweit in vorgesehene Maßnahmen zur Bodenumlagerung auch Unterböden einbezogen werden sollen, sind ggf. ergänzende Untersuchungen von Unterböden anzuraten. Grundsätzlich kann von den Schadstoffgehalten der Oberböden nicht auf die Gehalte der Unterböden geschlossen werden. Die abfall- und bodenschutzrechtlichen Anforderungen zum Umgang mit belastetem Bodenmaterial in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen werden im Anhang 1 beschrieben.

Zur räumlichen Darstellung der Bodenbelastung in diesen Gebieten ist keine geostatistische Interpolation vorgesehen, so dass eine Fortschreibung der Bewertungskarte auf Basis neuer Messdaten mit relativ geringem Aufwand möglich ist. Detaillierte Informationen über darüber hinausgehende Möglichkeiten der Anwendung geostatistischer Methoden sind in Anhang 2 angegeben.

Eine auf Basis von Raumeinheiten und statistischen Kenngrößen erstellte Bewertungskarte bietet folgende Vorteile:

- Raumeinheiten, die mit einer hinreichenden Messnetzdichte untersucht sind, können auf einfache Weise mit belastbaren Aussagen belegt werden, d. h. der Aufwand ist deutlich geringer als beim Einsatz einer geostatistischen Interpolation mit vergleichbarer Genauigkeit.

- Im Gegensatz zur geostatistischen Interpolation sind die Berechnung von Korrekturfaktoren und eine Datenbereinigung zur Erzeugung der Interpolationseignung nicht notwendig. Die Berechnung der Korrekturfaktoren stellt gerade für Einheiten mit größeren Streuungen, wie sie in den Auen zu erwarten sind, häufig ein Problem dar.

- Der Schwankungsbereich der Stoffgehalte kann für verschiedene Stellen im Gewässerlauf, welche über die Raumeinheiten berücksichtigt werden können, festgelegt und geprüft werden. Somit kann beispielsweise auf gewässermorphologische Eigenschaften eingegangen und ein differenzierteres Bild der Belastung erzeugt werden.

- Die Aussagen können bei Verwendung geeigneter Kenngrößen direkt mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Beurteilungswerten verknüpft werden.

- Alt- und Neudaten können mit einfachen Mitteln genutzt und aufgenommen werden, so dass eine Aktualisierung der Bewertung gewährleistet werden kann.

Die Bewertungskarte ist im Vergleich zu einer auf Grundlage einer geostatistischen Interpolation erstellten Bodenbelastungskarte ggf. ungenauer, da sie klein- und großskalige räumliche Zusammenhänge nicht in vergleichbarer Qualität abbildet. Soll die Qualität von Ergebniskarten z. B. in Teilgebieten der Aue erhöht werden, kann – aufbauend auf den Arbeitsschritten des vorliegenden Leitfadens – eine geostatistische Auswertung durchgeführt werden (vgl. Anhang 2).

3 Datenrecherche

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist die Recherche, Zusammenstellung und Beschaffung der vorhandenen Datengrundlagen, Karten und Informationen zur Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und zu den Einflussfaktoren für stoffliche Bodenbelastungen.

Vorinformationen aus der Datenrecherche sind wichtig, um das Raumeinheitenmodell an das jeweilige Gebiet anpassen und Messergebnisse interpretieren zu können. Anhand der Rechercheergebnisse, z. B. zur Flussgeschichte, lässt sich die Untersuchung im Vorfeld auf das jeweils in einer Aue relevante Schadstoffspektrum ausrichten. Beispielsweise kann der Aufwand für Laboranalysen verringert werden, wenn z. B. einige organische Schadstoffe nicht im Gebiet zu erwarten sind und daher aus dem Untersuchungsprogramm entfallen.

Es sollte geprüft werden, ob im Untersuchungsgebiet Daten und Ergebnisse aus Untersuchungen vorliegen, die für die Auswertungen genutzt werden können.

Die Datengrundlagen sind bei den jeweiligen zuständigen Behörden zu beschaffen. Es wird ausdrücklich auf die Möglichkeit für Kommunen und andere Institutionen mit Zugang zum TESTA-Netz (http://lv.kommunen.nrw.testa-de.net/geo/ims/ELWAS-IMS/start.htm) hingewiesen, auf die in ELWAS NRW (Elektronisches Wasserwirtschaftliches Verbundsystem) verfügbaren Datengrundlagen direkt zuzugreifen. In Tabelle 2 werden die erforderlichen Datengrundlagen und Qualitätsanforderungen aufgelistet. Darüber hinaus werden für die Auswertungen nützliche, aber nicht unbedingt notwendige Informationen bzw. Daten genannt. Weitergehende Hinweise zur Dateneignung werden in den Kapiteln 5.2.1 bis 5.2.7 gegeben.

Tabelle 2: Datengrundlagen

Einflussfaktor / Thema	Geeignete Datenquellen	Datenführende Stellen	Mindestanforderungen an die Daten	Bedarf
1. GELÄNDE UND NUTZUNG				
Geländeform	Digitales Geländemodell 5 (DGM5) NRW	Geodatenzentrum NRW[2]	flächendeckende, georeferenzierte Rasterdaten (z. B. ASCII) Gitterweite 10 x 10 m oder kleiner Erfassung durch Laserscanbefliegung (Höhengenauigkeit +/- 3 dm, in flachen Bereichen +/- 10 cm) Bodensenkungen > 30 cm sind berücksichtigt Erfassung liegt nicht länger als 20 Jahre zurück	✓
	Hochaufgelöste Digitale Geländemodelle von Wasserstraßen (DGM-W)	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)		
Topographie	Deutsche Grundkarte 1 : 5.000 (DGK5)	Geodatenzentrum NRW und kommunale Katasterämter	flächendeckende, georeferenzierte Rasterdaten (z. B. TIFF) Maßstab 1 : 5.000	✓
	Topographische Karte 1 : 25.000 (TK 25)	Geodatenzentrum NRW		
Landnutzung, Wasserflächen	Realnutzungskartierung	kommunale Katasterämter	flächendeckende, georeferenzierte Vektordaten (Polygonshape) Maßstab 1 : 5.000 ggf. Maßstab 1 : 25.000, sofern keine größeren Maßstäbe verfügbar	✓
	Flurkarte*	kommunale Katasterämter		
	Flächennutzungsplan	kommunale Kataster- oder Planungsämter		
	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS)	Geodatenzentrum NRW		

[2] Bezirksregierung Köln (ehem. Landesvermessungsamt)

Einflussfaktor / Thema	Geeignete Datenquellen	Datenführende Stellen	Mindestanforderungen an die Daten	Bedarf
Moore	Biotopkartierung	kommunale Naturschutzbehörden	flächendeckende, georeferenzierte Vektordaten (Polygonshape) Maßstab 1 : 5.000	optio-nal
	Deutsche Grundkarte 1 : 5.000 (DGK5)*	Geodatenzentrum NRW und kommunale Katasterämter		
	Bodenkarten von NRW 1 : 5000 (nicht flächendeckend vorhanden)	Geologischer Dienst NRW		
2. BÖDEN				
Bodeneigenschaften (Bodenartenhauptgruppe)	Bodenkarten von NRW 1 : 5000 (nicht flächendeckend vorhanden)	Geologischer Dienst NRW	flächendeckende, georeferenzierte Vektordaten (Polygonshape)* Maßstab 1 : 5.000 ggf. ergänzend Bodenkarte von NRW im Maßstab 50 : 000 zu Übersichtszwecken bei großen Untersuchungsgebieten bodenkundliche Profilbeschreibung ggf. Bodenschätzungsdaten, sofern keine Bodenkarten verfügbar nach Vor-Ort-Prüfung im Feld	✓
	Falls keine Bodenkarten 1 : 5.000 vorhanden: Bodenschätzung mit Profildaten (= Layer Bodenkarte der Deutschen Grundkarte 1 : 5.000, DGK5Bo) (flächendeckend vorhanden für landwirtschaftlich genutzte Flächen; Eignung ist zu prüfen, siehe Kap. 5.2.4)	Geodatenzentrum NRW oder kommunale Katasterämter		
Messdaten für Schadstoffe im Boden	FIS StoBo-/BBK-Analysedaten	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW	georeferenzierte Vektordaten (Punktshape)* qualitätsgesicherte Messdaten für Schadstoffe im Boden Erfüllung der BBK-Qualitätsanforderungen (LUA Merkblatt 24) Probenahme liegt weniger als 5 Jahre zurück	✓
	Sonderuntersuchungsprogramme	kommunale Bodenschutz- und Wasserbehörden		

Einflussfaktor / Thema	Geeignete Datenquellen	Datenführende Stellen	Mindestanforderungen an die Daten	Bedarf
Verdachtsflächen für Bodenbelastungen und Umlagerungen	Digitale Bodenbelastungskarten für Außen- und Siedlungsbereiche	kommunale Bodenschutzbehörden	georeferenzierte Rasterdaten (z. B. ASCII)	✓
	Altlastenkataster, Aufschüttungs- und Abgrabungskataster	kommunale Bodenschutzbehörden oder Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW	Georeferenzierte Vektordaten (Polygonshape)* Flächenhafte Verortung von Altstandorten, Altablagerungen, Aufschüttungen und Abgrabungen Aktueller Stand des Katasters	✓
	Deutsche Grundkarte 1 : 5000 zur Erfassung von Aufschüttungen und Abgrabungen*	Geodatenzentrum NRW oder kommunale Katasterämter		
	historische Luftbilder zur Erfassung von Aufschüttungen und Abgrabungen	Geodatenzentrum NRW oder kommunale Katasterämter		
	Bodenkarten von NRW 1 : 5000 (nicht flächendeckend vorhanden)	Geologischer Dienst NRW		
	analoge Flurkarten mit symbolhaften Informationen zu Abgrabungen und Aufschüttungen ohne räumliche Abgrenzung (in digitaler Flurkarte nicht enthalten)	kommunale Katasterämter		
	Karten und Informationen zu abgeschlossenen Renaturierungsmaßnahmen	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Wasserverbände, kommunale Wasserbehörden	s.o.	✓
	Karten zur Klärschlammanwendung	kommunale Bodenschutzbehörden		
	Bergbauliche Karten zu Halden und Aufschüttungen	Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW		

Einflussfaktor / Thema	Geeignete Datenquellen	Datenführende Stellen	Mindestanforderungen an die Daten	Bedarf
3. GEWÄSSER				
Überschwemmung/ Wasserstand	großmaßstäbige (1 : 1.000 – 1 : 5.000) Karten der festgelegten Überschwemmungsgebiete gem. § 76 WHG, sowie – soweit verfügbar – der rezenten und historischen Überflutungsgebiete	kommunale Wasserbehörden	georeferenzierte Vektordaten (Polygonshape)* Maßstab 1 : 5.000 ggf. auch bis 1 : 50.000, sofern keine größeren Maßstäbe verfügbar	✓ (z. T. optional)
	Abgrenzungen Überflutungsgebiet 100-jährliches Hochwasser (HQ100)	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Wasserverbände oder ggf. kommunale Wasserbehörden		
	Hochwassergefahrenkarten HQ2, HQ5, (Oberläufe, kleine Gewässer), HQ10, HQ50	Wasserverbände oder ggf. kommunale Wasserbehörden		
	Flächennutzungsplan mit festgesetzten Überschwemmungsgebieten	kommunale Kataster- oder Planungsämter		
	mittlere Wasserstände der Gewässer	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW		
	Wasserspiegellagen der Gewässer bei HQ2, HQ5 (Oberläufe, kleine Gewässer), HQ10, HQ50	Wasserverbände oder kommunale Wasserbehörden	mittlere Werte für Flussabschnitte [m über Gewässeroberfläche] oder [m ü. NN]	optional

Einflussfaktor / Thema	Geeignete Datenquellen	Datenführende Stellen	Mindestanforderungen an die Daten	Bedarf
Höhe der Gewässeroberfläche über NN	Gewässerstationierungskarte[3] (höhenreferenzierte Gewässerstationierung, Abstand 100 m, Höhen aus DGM5)	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW	georeferenzierte Vektordaten (Punktshape) aktueller Stand Daten für gesamtes Teileinzugsgebiet (z. B. Ruhr, Wupper, Ems, Niers)	✓
Deiche	Deutsche Grundkarte 1 : 5000, ggf. auch historische Ausgaben	Geodatenzentrum NRW oder kommunale Katasterämter	georeferenzierte Vektordaten (Polygonshape)* aktueller und historischer Deichverlauf	✓
Schadstoffe im Gewässer	historische Berichte und Veröffentlichungen	Presse, Bibliotheken	Informationen zum Stoffspektrum im Einzugsgebiet der Fließgewässer (z. B. aus Siedlung, Industrie, Landwirtschaft, Oberflächenabfluss aus Siedlungsgebieten) Informationen zu maßgeblichen direkten Schadstoffeinleitungen in die Fließgewässer (Lage, Stoffspektrum)	optional
	Experten der zuständigen Wasserbehörden	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, kommunale Wasserbehörden		
Gewässerlauf und Gewässereigenschaften (aktuell, historisch)	Fließgewässer in NRW mit Angaben zur Ordnung)	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW	georeferenzierte Vektordaten (Linien- oder Punktshape) und/oder georeferenzierte Rasterdaten (TIFF) zu Übersichtszwecken und zur Identifizierung von Flussabschnitten	optional
	Fließgewässertypenatlas Nordrhein-Westfalens (LUA 2003)	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW		
	Strukturgütekarten NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW		

[3] LANUV NRW (2007): Gewässerstationierungskarte des Landes Nordrhein-Westfalen. http://www.lanuv.nrw.de/wasser/gstat.htm

Einflussfaktor / Thema	Geeignete Datenquellen	Datenführende Stellen	Mindestanforderungen an die Daten	Bedarf
Gewässerlauf und Gewässereigenschaften (aktuell, historisch	Daten zu Schadstoffeinleitungen in Oberflächengewässer	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW		optional
	orohydrographische Karten	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW		
Wasserschutzgebiete	Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete (regional)	kommunale Wasserbehörden, Wasserversorger	georeferenzierte Vektordaten (Polygonshape)* Maßstab 1 : 5.000 ggf. auch bis 1 : 50.000, sofern keine größeren Maßstäbe verfügbar (Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete in NRW 1 : 50.000 des LANUV NRW)	optional

*** Analog vorliegende Daten sind zu digitalisieren.**

DIGITALE GELÄNDEMODELLE

Um die Einflussfaktoren auf die Schadstoffverteilung und -anreicherung darzustellen, sind u. a. detaillierte Informationen zum Fließ- und Sedimentationsverhalten des Flusses notwendig. Dies kann insbesondere über das digitale Höhenmodell abgebildet werden. Die Genauigkeit der Höhendarstellung sollte im Idealfall im Bereich von 5 bis 10 cm liegen.

Das **Digitale Geländemodell 5 (DGM5)** beschreibt die natürliche Geländeform der Erdoberfläche durch in Lage und Höhe georeferenzierte, regelmäßig angeordnete Gitterpunkte mit einer Gitterweite von 10 m. Die Lage wird im Landessystem (Gauß-Krüger-Koordinaten, Netz 77) und die Höhe als Normalhöhe, die sich auf die Normalhöhennull-Fläche (NHN) bezieht, angegeben. Seit Ende 2002 steht das DGM5 für die gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalens – jedoch mit unterschiedlicher Aktualität und Genauigkeit – zur Verfügung (siehe auch www.geoportal.nrw.de). Ob für die Nutzung des DGM5 Kosten anfallen, ist im Einzelfall zu prüfen; ggf. ist die Nutzung für Kommunen für entsprechende Aufgaben kostenfrei. Fallen Kosten für die Nutzung des DGM5 an, sind diese abhängig von der Größe des Untersuchungsgebietes.

Das DGM5 weist eine unterschiedliche Aktualität und – je nach Erfassungsmethode – auch eine unterschiedliche Höhengenauigkeit auf. Insbesondere die Höhengenauigkeit ist eine wesentliche Voraussetzung zur Abbildung der überschwemmungsbedingten Einflussfaktoren. Für die mit Laserscanner erhobenen Daten wird eine Höhengenauigkeit von +/– 3 dm angegeben. In flachen Bereichen ist von einer höheren Genauigkeit im Bereich von +/– 1 dm auszugehen. Die Eignung des DGM5 ist für jedes Untersuchungsgebiet anhand der Aktualität, Erfassungsmethode und Erfassungsgenauigkeit zu prüfen (Kriterien vgl. Tabelle 2). Aktuell liegt das DGM5 für NRW fast vollständig aufgrund von Laserscan-Erfassungen vor und weist in weiten Teilen eine hohe Genauigkeit auf (vgl. Abbildung 4).

.

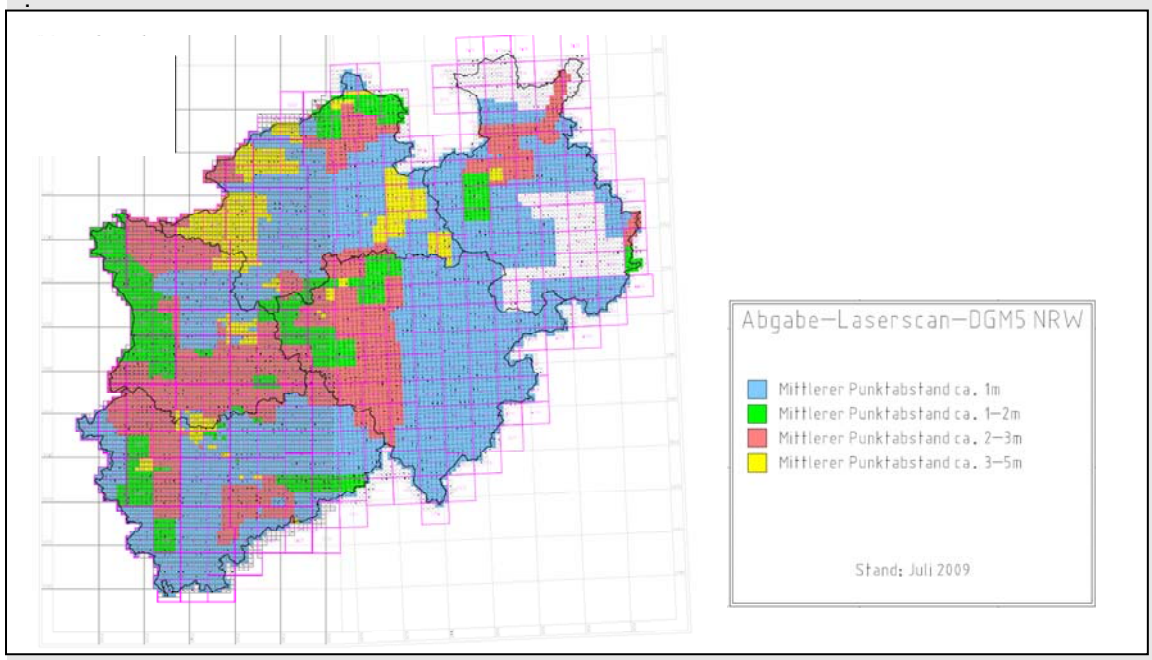


Abbildung 4: Genauigkeit des Laserscan-DGM5 NRW

Das in den Testgebieten verwendete DGM5 mit einer Gitterweite von 10 x 10 m ist derzeit die beste flächendeckend in NRW vorhandene Grundlage für räumliche Auswertungen mit kreis- oder landesweiter Ausdehnung. Dennoch sind daraus abgeleitete räumliche Abgrenzungen mit Unsicherheiten behaftet. Räumliche Differenzierungen unterhalb von 10 m sind jedoch ohnehin weder zur Planung einer verhältnismäßigen Beprobung des Bodens noch in Bezug auf den Vollzug von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen geeignet. Daher kann diese Unsicherheit in Kauf genommen werden.

Liegt im Untersuchungsgebiet kein Digitales Geländemodell 5 (DGM5) aus einer Laserscan-Befliegung vor, das die Mindestanforderungen gemäß Tabelle 2 erfüllt, stehen flächendeckend für NRW DGM5 aus der Digitalisierung von DGK5-Höhenfolien zur Verfügung. Eine Verwendung dieser Höhendaten für Auenbereiche ist jedoch nicht zu empfehlen, da die Höhengenauigkeit hier bei +/– 5 dm liegt. Das i. d. R. flache Gelände wird damit nicht ausreichend abgebildet.

In diesem Fall empfiehlt es sich, andere Quellen auf Verfügbarkeit zu prüfen wie z. B. das DGM2 NRW oder das DGM für Wasserstraßen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Das **Digitale Geländemodell 2 (DGM2)** beschreibt die natürliche Geländeform der Erdoberfläche mit einer Gitterweite von 1 m und liegt derzeit für etwa 1/3 der Landesfläche Nordrhein-Westfalens vor (Stand 06/2008). Die Flächendeckung wird bis zum Jahr 2015 angestrebt. Die Höhengenauigkeit beträgt überwiegend +/– 3 dm. Hochaufgelöste **DGM für Wasserstraßen und Vorländer (DGM-W)** mit Gitterweiten z. B. von 1,25 m sind für einige Fließgewässer bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz vorhanden.

4 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes durch Auswertung vorliegender Daten. Auf Grund der Erkenntnis, dass Schadstoffbelastungen in Auenbereichen im Wesentlichen durch Überschwemmungsereignisse entstehen, soll das Untersuchungsgebiet grundsätzlich die potenziellen Überflutungsgebiete, d. h. die Grenzen der Wasserspiegellagen rezenter und historischer Überschwemmungen einschließen. Auch bebaute Bereiche gehören zur äußeren Abgrenzung des Untersuchungsgebietes.

Zu Überschwemmungseinflüssen an Fließgewässern liegen i. d. R. mehrere Datenquellen vor, die jeweils unterschiedliche Gebiete umfassen oder indirekt auf Überflutungen in der Vergangenheit hinweisen (vgl. Tabelle 2 und Abbildung 5). Zudem beruhen die bei den kommunalen Behörden vorliegenden Abgrenzungen der Überflutungsgebiete nicht zwingend auf jeweils vergleichbaren Datengrundlagen (LUA NRW 2000b). Oftmals liegen den Abgrenzungen Daten wie z. B. Informationen über das 100-jährliche Hochwasser (HQ100) zu Grunde. Bei festgesetzten Überschwemmungsgebieten sind bebaute Gebiete und das ggf. historisch mit Schadstoffen belastete Deichhinterland nicht enthalten.

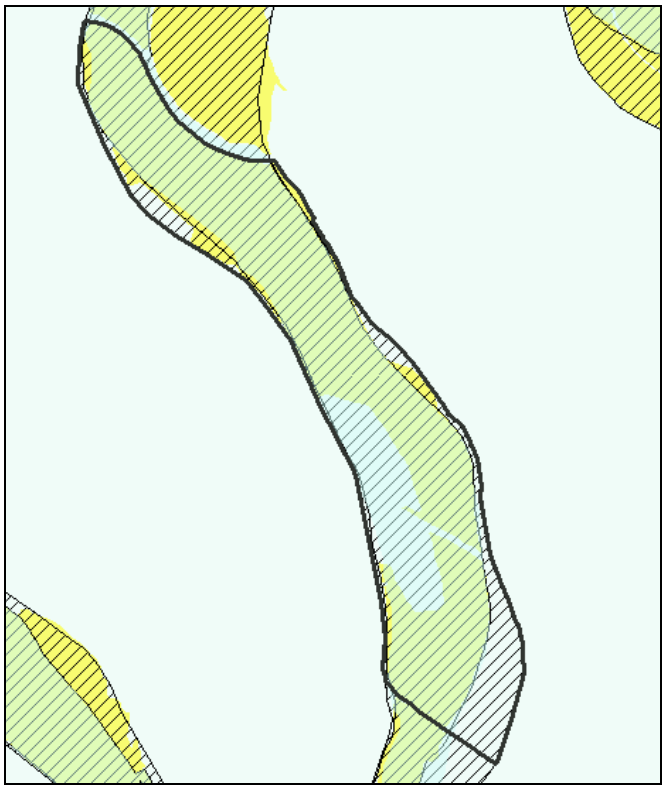


Abbildung 5: Grenzen des potenziellen Überflutungsgebietes auf Grund verschiedener Datengrundlagen (Beispiel: Testgebiet Ruhr)

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes kann auf zwei unterschiedlichen Maßstabsebenen erfolgen:

4.1 Mittelmaßstäbige Abgrenzung (1 : 25.000 – 1 : 50.000)

Die Außengrenzen des Untersuchungsgebietes ergeben sich bei einer mittelmaßstäbigen Abgrenzung aus der Übernahme oder der Zusammenführung[4] von folgenden Datengrundlagen (Quellen vgl. Tabelle 2):

Grenzen des Überschwemmungseinflusses in vorhandenen digitalen Bodenbelastungskarten oder

Abgrenzungen des Überflutungsgebietes für mittlere und größere Gewässer des LANUV NRW (entspricht i. d. R. HQ100) und der Überflutungsgebiete der Preussischen Uraufnahme[5] sowie die gewässernahe Verbreitung von vernässten bzw. auenspezifischen Bodentypen wie z.B. Vega, Gley-Vega, Vega-Gley Auengley, Braunerde-Gley, Gley, Tschernitza, Gley-Tschernitza und ggf. Niedermoor.

Vorteile	**Nachteile**
Für den Kreis/die kreisfreie Stadt ergibt sich eine flächendeckende Darstellung. Bei Übernahme der Abgrenzung aus der BBK Außenbereich sind die Gebietsabgrenzungen identisch und der Aufwand für die Abgrenzung deutlich geringer als bei einer großmaßstäbigen Abgrenzung.	Es müssen Unschärfen bei der äußeren Abgrenzung der Bodenbelastung auf Grund des Überschwemmungseinflusses in Kauf genommen werden. Ggf. werden überschwemmungsbedingte Belastungen, die außerhalb des abgegrenzten Überschwemmungsgebietes (z.B. HQ100) liegen, nicht mit erfasst.

Falls in einer vorliegenden Bodenbelastungskarte fluviale Sedimente oder Auenböden (z. B. aus der BK50) außerhalb des potenziellen Überflutungsgebietes als Ausschlussflächen gekennzeichnet wurden, ist anhand der vorliegenden Karte der oberflächennahen Gesteine aus der BBK zu prüfen, ob diese in der Untersuchung nach der hier entwickelten Methodik mitbetrachtet werden.

Das Ergebnis der Zusammenführung ist auf Grundlage der Höhenlinien der Deutschen Grundkarte 1 : 5.000, des DGM5 und der in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Karte der relativen Geländehöhe über dem Gewässer auf Plausibilität zu prüfen. Bestehen Zweifel an der Abgrenzung, kann das Gebiet nach innen reduziert werden.

[4] GIS-Funktionen *UNION* und *DISSOLVE*

[5] Für den Rhein liegen z.B. die Abgrenzungen des HQ100 mit und ohne Deiche vor.

4.2 Großmaßstäbige Abgrenzung (1 : 1.000 – 1 : 5.000)

Wird eine großmaßstäbige äußere Abgrenzung der Bodenbelastung angestrebt, sind räumlich detailliertere Datengrundlagen zum Überschwemmungseinfluss, z. B. von Wasserverbänden oder kommunalen Wasserbehörden, erforderlich. Darüber hinaus ist eine systematische Beprobung der Böden innerhalb und außerhalb der Überschwemmungsgrenzen erforderlich, um die Abgrenzung der Bodenbelastungen durch Überschwemmungseinflüsse zu verifizieren.

Vorteile	Nachteile
Die Abgrenzung erfolgt detailliert und bei Bedarf flurstücksscharf und ist damit gut für den Bodenschutz-Vollzug geeignet. Überschwemmungsbedingte Belastungen, die außerhalb des abgegrenzten Überschwemmungsgebietes (z.B. HQ100) liegen, werden miterfasst.	Mit der großmaßstäbigen Abgrenzung ist ein höherer Aufwand verbunden.

Im Rahmen der weiteren Untersuchung kann anhand der Ergebnisse festgestellt werden, wo die Grenze des potenziellen Überflutungsgebietes verläuft.

Digitale Bodenbelastungskarten für den Außenbereich decken i.d.R. auch überschwemmungsbedingte Belastungsbereiche ab (LUA 2000b). Maßgeblich für die Ableitung des Handlungsbedarfs des Bodenschutz-Vollzugs sind schließlich die Ergebniskarten der Bearbeitung dieser Gebiete nach vorliegendem Leitfaden, da sie die großmaßstäbigeren und somit genaueren Abgrenzungen liefern.

Die Entscheidung für den anzuwendenden Maßstab muss sich im Einzelfall aus den angestrebten Zielen in Abwägung mit dem als vertretbar angesehenen Aufwand und den nutzbaren Datengrundlagen ableiten. Eine Anpassung an Grundstücksgrenzen für eine flurstücksscharfe Abgrenzung ist bei der Festlegung der räumlichen Grenzen anzustreben (MUNLV NRW 2004).

Aus Kostengründen kann eine Priorisierung von Teilen innerhalb des Untersuchungsgebietes sinnvoll sein (z. B. Untersuchung des Überflutungsbereichs größerer Gewässer im ersten Schritt, Nebengewässer im zweiten Schritt). In diesem Fall sind nicht untersuchte/nicht bewertete Flussabschnitte als solche zu kennzeichnen.

Neben aktuellen Überschwemmungsgebieten sind auch historische Überschwemmungsgebiete von Bedeutung für die stoffliche Bodenbelastung (z.B. verlegte Vorfluter; vgl. LANUV NRW 2007b, Berief 2005); d.h., dass sich die Grenzen der Belastungszonen mit zunehmendem Kenntnisstand ändern. Eine Erweiterung des Untersuchungsgebietes ist beispielsweise notwendig, wenn auf Grund von historischen Karten oder anderen Quellen Hinweise auf weitergehende überschwemmungsbedingte Schadstoffbelastungen der Böden vorliegen. In Ab-

bildung 6 ist beispielhaft dargestellt, wie durch die Einbeziehung der historischen Überschwemmungsgebiete von Rhein und Dhünn der maximale Überschwemmungseinfluss an der Wupper festgelegt wurde.

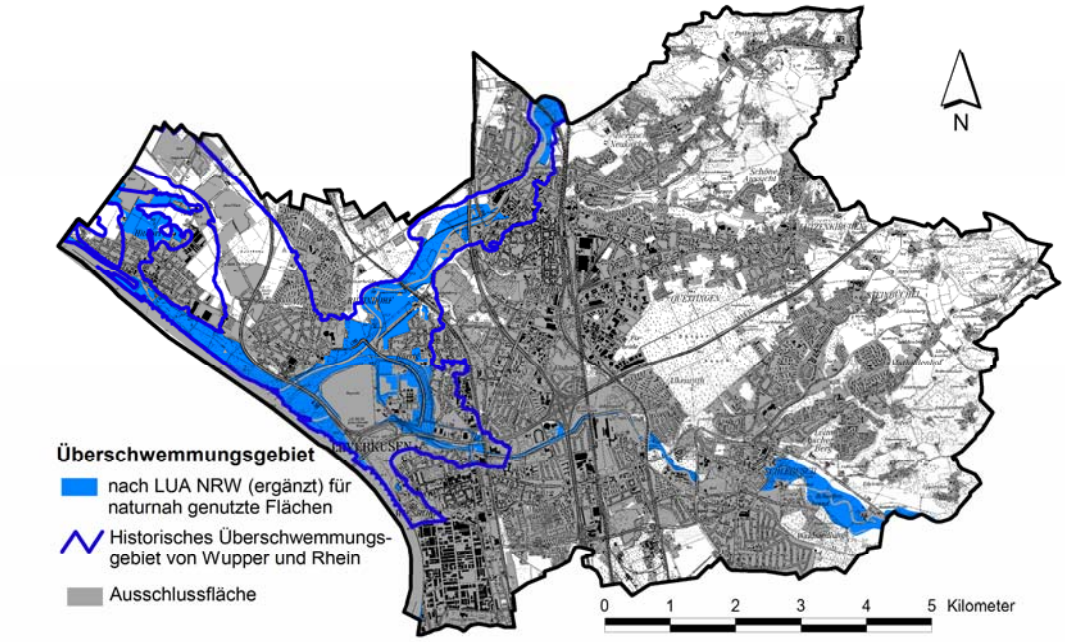


Abbildung 6: Überschwemmungsgebiete der drei großen Vorfluter Rhein, Wupper und Dhünn im Stadtgebiet von Leverkusen (Quelle: Stadt Leverkusen 2006)

5 Bildung von Raumeinheiten

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, auenspezifische Raumeinheiten, d. h. Gebiete mit ähnlichen Schadstoffgehalten abzugrenzen. Hierbei wird eine Balance zwischen ausreichender Differenzierung und Praktikabilität angestrebt. So ist zum Einen ein hinreichender Differenzierungsgrad notwendig, um die mit Schadstoffen belasteten Teilflächen eindeutig von unbelasteten Flächen abzutrennen. Zum anderen gilt es, nicht zu viele Einzelflächen im Modell abzubilden, da diese bei der Umsetzung von Maßnahmen nicht handhabbar sind. Um die ggf. notwendigen Probenahmearbeiten mit einem vertretbaren Aufwand durchzuführen, sollten die Raumeinheiten nicht zu stark differenziert werden.

5.1 Faktoren zur Bildung der Raumeinheiten

Das Raumeinheitenmodell basiert auf Einflussfaktoren, die nach wissenschaftlichen Erkenntnissen in Auengebieten relevant für die Höhe der Schwermetallgehalte im Oberboden sind (vgl. Kapitel 2). Diese Faktoren wurden im Ergebnis detaillierter Untersuchungen in zwei Testgebieten an Ruhr und Wupper bestätigt.

Von Bedeutung sind die folgenden Faktoren:

- **Flusscharakteristik / Flussabschnitte** *(vgl. Kapitel 5.2.1)*
  Bei einer stadt- oder kreisweiten Untersuchung von Auenbereichen sollte eine Unterteilung des Untersuchungsgebietes erfolgen, so dass jedes Fließgewässer einzeln betrachtet wird. Weiterhin ist zu prüfen, ob eine Unterteilung des Überflutungsgebietes in Flussabschnitte das Modell verbessern kann. Sinnvoll sind beispielsweise Abschnitte, mit spezifischen Sedimentationsbedingungen, die sich im Auenquerschnitt, in der Fließgeschwindigkeit oder hinsichtlich der Anbindung von Flächen an das Gewässer unterscheiden (siehe Info „Überschwemmungseinflüsse und Sedimentationsverhalten“) oder auch Abschnitte mit unterschiedlichem Schadstoffpotenzial, z.B. auf Grund der Einmündung von belasteten Vorflutern.

- **Relative Geländehöhe über dem Gewässer** *(vgl. Kapitel 5.2.2 und 5.2.3)*
  Die Geländehöhe über NN nimmt in Flussauen in Fließrichtung ab. Die Überflutungshäufigkeit und -dauer hängt nicht von der Höhe über NN ab, sondern von der relativen Geländehöhe über der Gewässeroberfläche. Um diesen Faktor zur Raumeinheitenbildung zu nutzen, wird eine „virtuelle Gewässeroberfläche“ erzeugt, die sich über das gesamte Überflutungsgebiet erstreckt. Durch Kombination mit der Geländehöhe über NN lässt sich daraus die relative Geländehöhe über dem Gewässer im Untersuchungsgebiet bestimmen.

- **Bodenartenhauptgruppe (Sand, Lehm/Schluff, Ton)** *(vgl. Kapitel 5.2.4)*
  Die Bodenart wurde einerseits in den Testgebieten als Faktor erkannt, der die Höhe der Schwermetallgehalte im Boden beeinflusst; zum anderen ist die Bodenart bewertungsrelevant bei der Anwendung der Vorsorgewerte nach BBodSchG.

In den Testgebieten wurden folgende weitere Faktoren auf ihre Relevanz für die Bildung von Raumeinheiten hin geprüft und als nicht relevant eingestuft; sie sind im Untersuchungsgebiet aber dennoch auf Relevanz zu prüfen und ggf. zu berücksichtigen:

- **Aktuelle Landnutzung** *(vgl. Kapitel 5.2.5)*
  Die Flächennutzung hat häufig einen Einfluss auf die Stoffgehalte von Böden, der jedoch durch den Überschwemmungseinfluss überprägt werden kann. Im Untersuchungsgebiet ist jeweils anhand vorliegender Informationen zu prüfen, ob die Höhe der Stoffgehalte durch die Landnutzung maßgeblich beeinflusst wird. Wenn sich Unterschiede zeigen oder zu erwarten sind, sollte die aktuelle Landnutzung in das Raumeinheitenmodell einbezogen werden. Zur Vereinfachung kann es sich anbieten, nach Prüfung auf eine Differenzierung der aktuellen Landnutzung für die Festlegung von Raumeinheiten zu verzichten. Dies ist insbesondere bei häufigen Nutzungswechseln im Auenbereich sinnvoll, da die Aktualität der Landnutzungsinformationen nicht gewährleistet ist und der häufige Nutzungswechsel zur Angleichung der Schadstoffgehalte führt.

- **Deiche** *(vgl. Kapitel 5.2.6)*
  Bei Deichen im Untersuchungsgebiet sollten Überflutungsgebiete in Deichvor- und Deichhinterland unterteilt werden, um der unterschiedlichen Überflutungs- und Sedimentationsdynamik der Auenböden vor und hinter dem Deich gerecht zu werden.

- **Aufschüttungen und Abgrabungen** *(vgl. Kapitel 5.2.7)*
  In den Testgebieten werden Aufschüttungen und Abgrabungen auf Grund ihres geringen Flächenanteils oder der zu erwartenden heterogenen Stoffgehalte in der Regel nicht in die Karte der Raumeinheiten einbezogen, d. h. sie werden als Ausschlussflächen behandelt.
  Sollten Aufschüttungen und Abgrabungen einen maßgeblichen Flächenanteil am Untersuchungsgebiet aufweisen, können sie unter bestimmten Rahmenbedingungen als eigene Raumeinheit im Modell berücksichtigt werden. Wesentlich ist hierbei, dass vergleichbare Eigenschaften vorliegen, um eine Raumeinheit zu begründen. Liegen unterschiedliche Einflussfaktoren wie z. B. unterschiedliche Zeitschnitte oder Materialzusammensetzung vor, sind diese als abgrenzungsrelevante Faktoren zur Differenzierung von Raumeinheiten einzubeziehen. Auch sollten Gebiete als eigene Raumeinheit abgegrenzt werden, in denen in der Vergangenheit Renaturierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, da diese i. d. R. mit maßgeblichen Umlagerungen von Bodenmaterial verbunden sind.

Ist auf Grund vorliegender Informationen zu erwarten, dass die Landnutzung oder die Immissionen als Einflüsse für die stoffliche Bodenbelastung nicht maßgeblich hinter dem Überschwemmungseinfluss zurücktreten, sollten sie als weitere Faktoren zur Ausweisung eigener Raumeinheiten berücksichtigt werden (z.B. Klärschlammflächen oder Bereiche mit besonderem Immissionseinfluss). Hierbei ist zu prüfen, inwieweit die Methoden zur Erstellung von Digitalen Bodenbelastungskarten für Außen- und Siedlungsbereiche (LUA NRW 2000b; LANUV NRW 2007b) ergänzend zur Anwendung in Frage kommen.

ÜBERSCHWEMMUNGSEINFLÜSSE UND SEDIMENTATIONSVERHALTEN

Die Anreicherung von Schadstoffen in Böden von Überschwemmungsgebieten wird stark vom jeweiligen Sedimentationsverhalten bestimmt. Maßgeblich für das Sedimentationsverhalten sind die Fließgeschwindigkeit sowie die Überflutungsdauer und -häufigkeit. Variierende Fließgeschwindigkeiten bedingen eine unterschiedliche Sedimentationsrate der Schwebstoffe und damit den Eintrag von mineralischen Substraten und organischer Substanz. Auf diese Weise werden an organische Substanz und Substrate gebundene Schadstoffe in Auenböden eingetragen.

Dominierend für diese Prozesse ist die **Höhenlage gegenüber der Gewässeroberfläche.** Eine Reihe von Studien zu Schadstoffbelastungen in Auenböden zeigt, dass die Höhe über dem Gewässer einen Schlüsselfaktor für eine detaillierte Darstellung der Schadstoffkonzentrationen darstellt (Rinklebe et al. 2005, 2007, 2009, DuLaing et al. 2009). Die Höhe über dem Gewässer berücksichtigt das Überflutungsregime (Überschwemmungshäufigkeit und -dauer sowie Fließgeschwindigkeit) und somit das daran gekoppelte Sedimentationsgeschehen von organischer Substanz und eingetragenen Substraten (Bodenarten) sowie deren Schadstoffkonzentrationen. Größere Rinnen und Senken werden in der Regel ebenfalls als tiefer gelegene Bereiche über die relative Höhe erfasst bzw. in Kombination mit der Bodenartenhauptgruppe (oftmals Ablagerung von Ton) abgebildet.

Ferner beeinflussen – je nach Untersuchungsgebiet – folgende weitere Faktoren die Sedimentationsverhältnisse und damit die Eintrags- und Akkumulationsbedingungen für Schadstoffe:

- **Anbindung von Flächen an das Gewässer**
- **kleinere, niedrig gelegene Bereiche** (Flutrinnen, Gräben, wannenartige Vertiefungen, abflusslose Senken, niedere Terrassen etc.)
- **Querschnitt der Flussaue**
- **großräumiges Gefälle der Flussaue**
- **im Einzelfall: Lage von Flächen im Bereich von Gleit- oder Prallhang**

Im Rahmen des vorliegenden Leitfadens wird die Höhenlage gegenüber der Gewässeroberfläche als Schlüsselfaktor für das Überflutungsregime in den zuvor definierten Raumeinheiten mit einer Karte der „relativen Höhenlage über dem Gewässer“ abgebildet. Weitere Faktoren können dadurch einbezogen werden, dass das jeweilige Untersuchungsgebiet in „Flussabschnitte“ aufgeteilt wird oder die Bildung von Raumeinheiten anhand der weiteren Faktoren erfolgt. Die Relevanz des Einflusses dieser weiteren Faktoren sollte unter Berücksichtigung der jeweils vorherrschenden regionalen Besonderheiten und standörtlichen Gegebenheiten geprüft werden. Nach einer fachlichen Bewertung kann – je nach gebietsspezifischer Relevanz – eine flexible Integrierung von weiteren Faktoren durch den zuständigen Fachbearbeiter erfolgen.

5.2 Abgrenzung von Gebieten mit ähnlichen Schadstoffgehalten

Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte beschrieben, die dazu dienen, Gebiete mit ähnlichen Schadstoffgehalten abzugrenzen. Für die maßgeblichen Einflussfaktoren für Schadstoffgehalte in Auenböden werden jeweils Arbeitskarten erstellt.

5.2.1 Arbeitskarte „Flussabschnitte“

Die Arbeitskarte „Flussabschnitte“ bildet Gebiete mit ähnlicher Auen- und Flusscharakteristik ab und untergliedert das im vorangehenden Schritt abgegrenzte Untersuchungsgebiet. Sie kann bei Bedarf genutzt werden, um die Untersuchung auf größere Gewässer in einem Kreis oder einer kreisfreien Stadt einzuschränken.

Die Karte wird auf Grund von Daten zum Gewässerlauf und zu den Gewässereigenschaften erstellt (vgl. Tabelle 2). Dies erfolgt in drei Schritten:

a) Gliederung nach Größe und Landschaftsraum

Für eine erste Grobgliederung wird das Untersuchungsgebiet auf Grund von Gewässerkarten in Abschnitte gegliedert, die die Größe der Fließgewässer beschreiben[6]:

- *Gewässer 1. Ordnung: Rhein, Weser sowie Abschnitte von Ems, Lippe, Ruhr, Sieg*
- *Gewässer 2. Ordnung: alle anderen Gewässer*

Um die unterschiedlichen Gefälle-, Überschwemmungs- und Sedimentationsbedingungen von Mittelgebirgs- und Flachlandgewässern abzubilden, wird das Untersuchungsgebiet z.B. auf Basis der Karte der Fließgewässertypen in NRW wie folgt untergliedert[7]:

- *Typen des Mittelgebirges: z.B. Wupper, Sieg, Rhein oberhalb des Austritts aus dem Rheinischen Schiefergebirge*
- *Typen des Norddeutschen Tieflandes: z.B. Ems, Rhein unterhalb des Austritts aus dem Rheinischen Schiefergebirge*

Die in der Karte der Fließgewässertypen in NRW ausgewiesenen ökoregion-unabhängigen Typen (organisch geprägte Flüsse und Bäche) sind je nach Lage dem Mittelgebirge oder dem Tiefland zuzuordnen.

b) Gliederung in Hauptlauf und Nebenflüsse

Die Sedimentationsbedingungen in Auenböden unterscheiden sich i. d. R. deutlich zwischen dem Hauptlauf und den Nebenflüssen eines Gewässersystems. Daher sollten die Auen der

[6] Einteilung der Gewässer gemäß Landeswassergesetz NRW 2005.

[7] Zuordnung der Fließgewässertypen zu Ökoregionen.

einzelnen Fließgewässer jeweils getrennte Raumeinheiten bilden, z. B. Hauptlauf und einzelne Nebenflüsse (wie bereits in einigen BBK durchgeführt, z. B. im Oberbergischen Kreis).

c) Gliederung des Gewässerlaufs in Teilabschnitte

Maßgebliche Veränderungen der Fluss- bzw. Auenmorphologie und der Schadstofffracht im Längsverlauf eines Gewässers sollten im Raumeinheitenmodell berücksichtigt werden. Dazu wird die Flussaue in Anpassung an die lokalen Bedingungen an sinnvollen Stellen in mehrere Abschnitte unterteilt. Als Datengrundlagen bieten sich in NRW die Karte der Gewässerstationierung (Gefälle), die Karte der Fließgewässertypen (Gewässermorphologie, Abfluss, Hydrologie), Daten zu Strukturgüte, zu Querbauwerken und zu Schadstoffeinleitungen an Fließgewässern an.

Die nachfolgend beschriebenen Faktoren sollten im Untersuchungsgebiet auf Relevanz geprüft werden. In das Raumeinheitenmodell sollten sie nur dann einbezogen werden, wenn sich dadurch nicht zu viele kleine, nicht handhabbare Raumeinheiten ergeben.

Veränderungen der Flusscharakteristik:

Die Sedimentationsbedingungen ändern sich maßgeblich bei:

- Eintritt vom Mittelgebirge in das Tiefland,
- Übergang von Ober-, Mittel- und Unterlauf,
- fehlender Gewässeranbindung (z. B. durch Dämme oder stark variierende Ausbauzustände des Gewässers, wie z. B. deutliche Tieferlegung von Gewässerabschnitten, so dass die Aue dort von der aktuellen Überflutungsdynamik abgeschnitten ist),
- im Einzelfall am Übergang von Gleit- zu Prallhang.

Gefälle und Fließgeschwindigkeit:

Über die höhenreferenzierte Gewässerstationierungskarte können Flussabschnitte identifiziert werden, die unterschiedliche Gefällesituationen aufweisen. Zu beachten ist, dass über die Gewässerstationierungskarte die Flussoberfläche abgebildet wird und nicht die Flusssohle.

Rückstaueffekte:

Rückstaueffekte können dazu führen, dass Teilbereiche des Untersuchungsgebietes weniger häufig, aber länger überflutet werden. An diesen Stellen ändern sich die Fließgeschwindigkeit und/oder die Fließrichtung und damit die Sedimentationseigenschaften des betrachteten

Bereichs. Die Einteilung in Flussabschnitte sollte geprüft werden:

- an Engstellen (deutlichen Querschnittsveränderungen),
- an größeren Querbauwerken wie Staustufen bzw. Staumauern[8],
- am Übergang zum Mündungsbereich von Nebenflüssen.

Direkteinleitungen und andere Immissionsquellen:

Eine unterschiedliche Schadstofffracht im Längsverlauf kann die Aufteilung von Flussabschnitten erfordern. Gründe sind:

- Direkteinleitungen, die mit Schadstoffen befrachtet sind und dadurch dazu führen, dass die Auen eines Gewässers unterhalb der Einleitung mit Schadstoffen belastet sind;
- Baumaßnahmen (z.B. Baggerarbeiten), die zur Freisetzung größerer Mengen an Sedimenten und zum Eintrag in Auenböden unterhalb der Baumaßnahmen führen;
- mittlere und größere Nebenflüsse, die sich in ihrer Schadstofffracht maßgeblich vom Hauptlauf unterscheiden und zu höheren oder geringen Schadstoffbelastungen unterhalb der Mündung führen können.

Im Ergebnis des Arbeitsschrittes liegt die Arbeitskarte „Flussabschnitte“ vor. Darin sollten die Abschnitte nicht zu kleinteilig abgegrenzt werden, damit – in Kombination mit den anderen Einflussfaktoren – eine praktikable Anzahl von Raumeinheiten gebildet werden kann. Zielgröße sind Flussabschnitte im Kilometerbereich. Raumeinheiten können später wieder zusammengefasst werden, wenn sie ähnliche Schadstoffgehalte aufweisen.

5.2.2 Arbeitskarte „Virtuelle Gewässeroberfläche“

Zur Abbildung des Höheneinflusses auf Schadstoffgehalte in Auenböden wird die relative Höhe des Geländes über dem Gewässer benötigt (vgl. Kapitel 5.2.3). Um diese aus dem digitalen Höhenmodell zu berechnen, wird zuvor eine Arbeitskarte der „virtuellen Gewässeroberfläche“ erstellt.

Die Datengrundlage zur Erzeugung der virtuellen Gewässeroberfläche ist die höhenreferenzierte Gewässerstationierungskarte (vgl. Tabelle 2). Sie wird vom LANUV NRW zur Verfügung gestellt und sollte zunächst im Bereich des/der gesamten Teileinzugsgebiete/s[9], an dem/denen das Untersuchungsgebiet Anteil hat, im GIS dargestellt werden (vgl. Abbildung 7). Die Höhenangaben der Gewässeroberfläche sind anhand des Fließgewässerverlaufs und der topographischen Inhalte der DGK5 zu prüfen.

[8] Zu berücksichtigen sind Maßnahmen zur Herstellung der Durchgängigkeit für Fische an Querbauwerken, die im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie erfolgen.

[9] Ems, Emscher, Erft, Ijssel, Lippe, Niers/Schwalm, Rheingraben Nord, Ruhr, Rur, Sieg, Weser, Wupper.

Prüfkriterien sind:

- Höhenabnahme in Fließrichtung[10],
- Repräsentanz für die Gewässeroberfläche.

Unplausible Höhenangaben sind durch Betrachtung von Punkten oberhalb und unterhalb zu ermitteln und bei Bedarf auszuschließen oder zu korrigieren[11] (z. B. Höhen von Brücken und anderen Querbauwerken, Höhen im Bereich von Stauseen und Talsperren, verrohrte Gewässerabschnitte). Falls nur die Aue eines Hauptgewässers betrachtet wird, sind auch Nebenflüsse in die Prüfung einzubeziehen.

Die Auswahl eines Teileinzugsgebietes erfolgt über die Gewässerkennzahl (z. B. Ruhr: GEWKZ = ′276 %'; Wupper: GEWKZ = ′2736 %'). Bei der Prüfung sollten nur Höhenangaben gemeinsam betrachtet werden, die eine identische Gewässerkennzahl aufweisen und nicht mehr als 150 m voneinander entfernt liegen.

Besondere Anforderungen bestehen bei der Ermittlung der virtuellen Gewässeroberfläche für Flachlandgewässer, da hier die Abflussrichtung nicht immer eindeutig aus der höhenreferenzierten Gewässerstationierungskarte bestimmt werden kann.

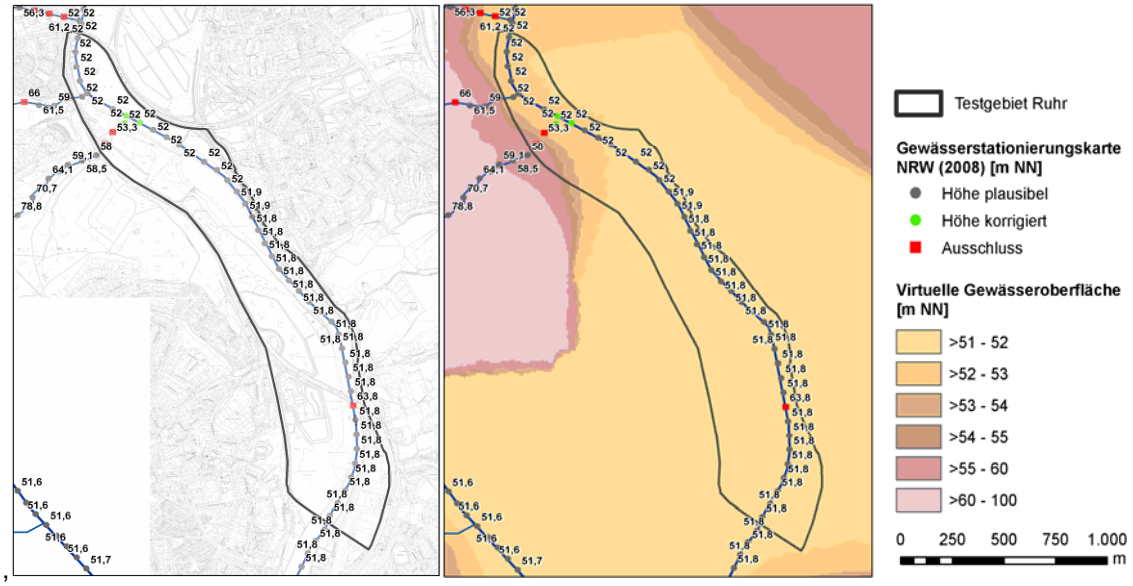


Abbildung 7: Höhenreferenzierte Gewässerstationierung (links) und „virtuelle Gewässeroberfläche" (rechts)

[10] Künftig sind durch das LANUV entsprechende Vorarbeiten mit dem Ziel der Bereitstellung landesweit plausibilisierter Höhenangaben an Gewässerstationierungspunkten sowie zum Gefälle der Gewässeroberfläche vorgesehen.

[11] Bei Staustufen kann auf dem Bauwerk in der Gewässermitte manuell ein Höhenpunkt ergänzt werden. Alternativ dazu könnten digitalisierte Querbauwerke als Barrier Lines bei der Interpolation berücksichtigt werden.

Nach Prüfung und Korrektur der Höhenangaben an den Gewässerstationierungspunkten werden diese im GIS räumlich interpoliert[12]. Die Interpolation sollte sich über das gesamte Fließgewässersystem – auch außerhalb des Untersuchungsgebietes – erstrecken (z. B. Ruhreinzugsgebiet). Ergebnis ist eine Karte der „virtuellen Gewässeroberfläche“ (vgl. Abbildung 7).

INTERPOLATIONSVERFAHREN FÜR DIE VIRTUELLE GEWÄSSEROBERFLÄCHE

Bei der Erzeugung der „virtuellen Gewässeroberfläche“ besteht im Einzelfall vertiefter Prüfungsbedarf hinsichtlich der Wahl des Interpolationsverfahrens bzw. der Modellparameter, um die Güte der Interpolation noch weiter zu verbessern. Nach einer visuellen Plausibilitätsprüfung in den zwei Testgebieten wird davon ausgegangen, dass das verwendete Interpolationsverfahren für vergleichbare Flussauen geeignet ist. Mit Blick auf die durch das DGM5 vorgegebenen Unsicherheiten (bei einer horizontalen Auflösung in einem 10 x 10 m-Raster) kann die Güte der Interpolation vermutlich durch Anpassung der Modellparameter nur in geringem Maß verbessert werden. Für große Flussauen (z. B. Rhein) ist bei Anwendung der Methode besonderer Wert auf die Plausibilitätsprüfung zu legen, da die Passgenauigkeit der interpolierten „virtuellen Gewässeroberfläche“ mit zunehmender Entfernung vom Gewässer abnimmt.

[12] Z. B. mit ArcGIS Spatial Analyst-Funktion Inverse Distance Weighted (Zellgröße 10 m, variabler Such-radius, mind. 6 bis 12 Punkte; Suchradius nach Plausibilitätsprüfung ggf. anpassen).

5.2.3 Arbeitskarte „Gebiete gleicher relativer Geländehöhe über dem Gewässer“

Die Arbeitskarte bildet das maßgebliche Kriterium zur inneren Differenzierung des Untersuchungsgebietes ab: die relative Höhenlage der Geländeoberfläche gegenüber der Gewässeroberfläche. Zur Erstellung werden das Digitale Geländemodell 5 (DGM5[13]) und die Karte der „Virtuellen Gewässeroberfläche“ benötigt. Das DGM5 sollte nicht im Bereich des Untersuchungsgebietes ausgeschnitten werden. Wegen der Dateigröße bzw. wegen hoher Rechenzeiten kann es sinnvoll sein, das DGM im Bereich des Fließgewässersystems auszuschneiden.

Nach Sichtung des DGM5 und Anpassung der Legende an die gebietsspezifischen Höhen in der Flussaue (zur Plausibilisierung der nächsten Rechenschritte) werden die Höhen der virtuellen Gewässeroberfläche flächenhaft von der Geländehöhe des DGM5 subtrahiert[14].

Das Rechenergebnis ist eine Rasterkarte der relativen Höhe über dem Gewässer (vgl. Abbildung 8). Daraus werden innerhalb des Untersuchungsgebietes anhand einer Höhenklassifizierung Raumeinheiten gebildet[15].

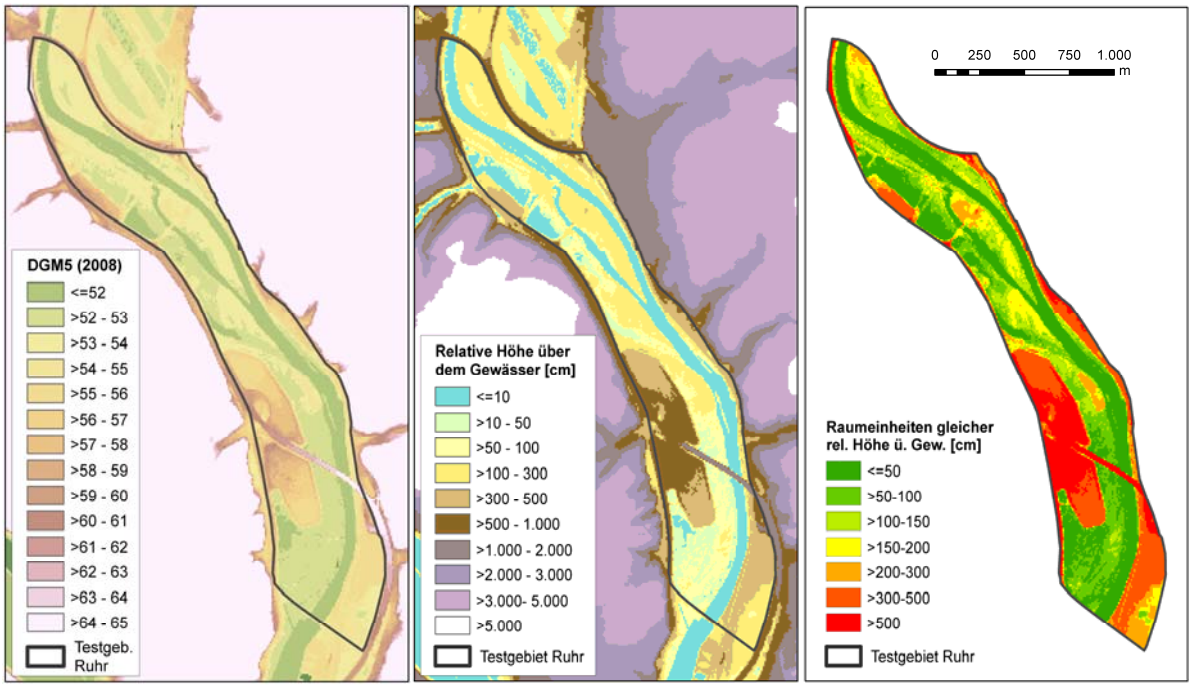


Abbildung 8: DGM5, relative Höhe über dem Gewässer und Raumeinheiten gleicher relativer Höhe

[13] Es können auch höher aufgelöste Höhenmodelle verwendet werden (vgl. Kapitel 0).

[14] Z. B. mit ArcGIS Spatial Analyst-Funktion des Raster Calculator.

[15] Z. B. mit ArcGIS Spatial Analyst-Funktionen Reclassify und Raster-Polygon-Konvertierung.

Die Klassengrenzen sollen sich im Ergebnis an der im jeweiligen Überschwemmungsgebiet eines Flusssystems vorhandenen Spannweite der relativen Geländehöhen über dem Gewässer orientieren.

Zur Ermittlung einer geeigneten Höhenklassifizierung werden folgende Teilschritte durchgeführt:

a) Erstellen von Raumeinheiten anhand von vorläufigen Klassengrenzen

Im ersten Schritt basieren die Raumeinheiten zunächst auf einer vorläufigen Klassifizierung der relativen Höhe in 1 m-Schritten:

- < 10 cm (entspricht 0 cm)[16]
- 10 (entspricht 0 cm) bis 100 cm
- 100 bis 200 cm
- 200 bis 300 cm usw.

Der Maximalwert entspricht der maximalen potenziellen Überflutungshöhe.

Die gebildeten vorläufigen Raumeinheiten gleicher relativer Höhe über dem Gewässer sind auf ihre Eignung für das jeweilige Untersuchungsgebiet zu prüfen.

b) Sichten der Häufigkeitsverteilung der relativen Höhen

Zur ersten Einschätzung geeigneter Klassengrenzen ist eine Häufigkeitsverteilung der relativen Höhen im Untersuchungsgebiet geeignet (vgl. Abbildung 9).

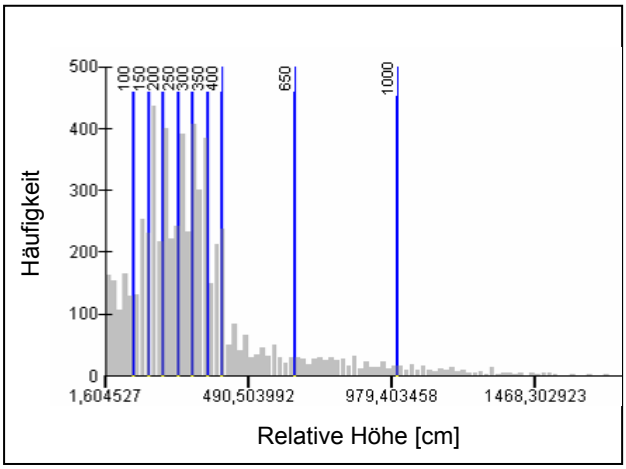


Abbildung 9: Häufigkeit der relativen Geländehöhe über dem Gewässer im Testgebiet Wupper

[16] Um die relative Höhe von 0 cm über dem Gewässer wird ein Toleranzbereich von +/–10 cm angenommen, um die Ungenauigkeiten der Höhen im DGM5 und in der „virtuellen Gewässeroberfläche“ zu berücksichtigen.

c) Auswertung von Isolinien der relativen Höhe über dem Gewässer

Liegen Anhaltspunkte dafür vor, dass die vorläufige Klassifizierung angepasst werden muss (z. B. bei einer zu geringen oder zu hohen Anzahl von Klassen), werden gebietsspezifische Isolinien für die Raumeinheitenbildung identifiziert. Diese definieren die Grenzen für die Höhenklassifizierung. Möglich sind sowohl engere Klassenbreiten < 100 cm als auch individuelle Klassengrenzen (z. B. 0 – 70 cm, 70 – 120 cm, 120 – 240 cm usw.). Bei Verwendung des DGM5 sollte die Klassenbreite jedoch nicht kleiner als 30 cm sein. Die Höhenklassifizierung ist flexibel handhabbar, um die regionalen Bedingungen adäquat abbilden zu können.

In bestimmten Fällen kann es sinnvoll sein, eine Raumeinheit einer benachbarten zuzuschlagen, z. B. wenn eine Raumeinheit am Gewässerrand eine zu geringe Breite aufweist (z. B. < 20 m) oder wenn steile Geländestufen eigene Raumeinheiten bilden. Solche Geländestufen sollten stets der gegenüber der Gewässeroberfläche niedrigeren Raumeinheit zugewiesen werden (Worst-Case-Ansatz) und bei der Messnetzplanung (vgl. Kapitel 6.1) nicht separat berücksichtigt werden.

Zur Identifizierung geeigneter Klassengrenzen werden Isolinien der relativen Geländehöhe über dem Gewässer im Abstand von 10 cm berechnet[17]. Die Isolinien werden im GIS über die Karte der vorläufigen Raumeinheiten gelegt (vgl. Abbildung 10).

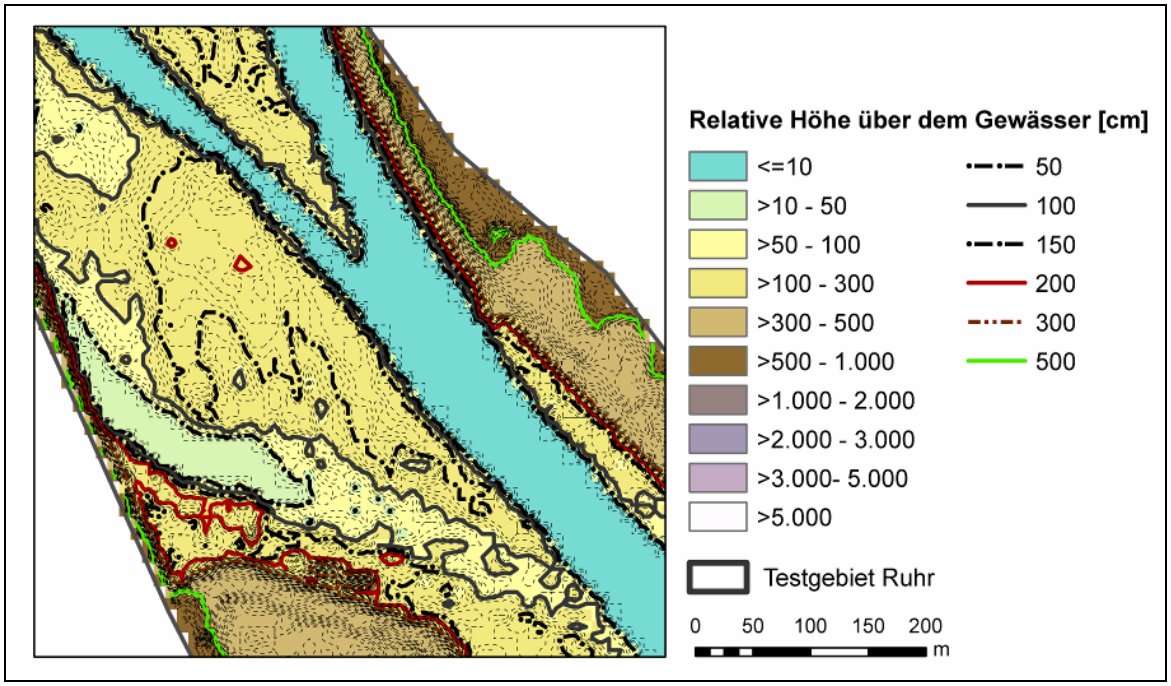


Abbildung 10: Isolinien relativer Geländehöhen über dem Gewässer

[17] Z. B. mit ArcGIS Spatial Analyst-Funktion Contours.

d) Auswertung von Wasserspiegellagen regelmäßiger Hochwasserereignisse

Eine weitere Möglichkeit zur Prüfung und Anpassung der vorläufigen Höhenklassifizierung besteht darin, die Wasserspiegellagen von regelmäßigen Hochwasserereignissen heranzuziehen (z. B. HQ10, HQ50; in Oberläufen und kleineren Fließgewässern ggf. auch HQ2, HQ5). Die entsprechenden Wasserstandsschwankungen können für einzelne Flussabschnitte berechnet werden. Die Wasserspiegellagen dienen dann – in Abhängigkeit der räumlichen Ausdehnung – als Grenzen der Raumeinheiten.

Um die Grenzen zu prüfen, wird jeweils diejenige Isolinie der relativen Höhe über dem Gewässer genutzt, die der Wasserspiegellage eines häufigen Ereignisses entspricht. Dabei ist die Höhengenauigkeit des verwendeten DGM zu berücksichtigen. Geeignete Daten liegen i. d. R. für die größeren Flüsse bei den Wasserverbänden vor (z. B. Wupperverband). Notwendig für einen solchen Schritt ist die Höhe der Wasseroberfläche bezogen auf NN zum jeweiligen Ereignis (z. B. HQ10). Die Schwankungsgröße der Wasserstände von unterschiedlichen Abflussereignissen ist nur dann ausreichend, wenn die Höhenangaben aus dem verwendeten DGM für das gesamte Untersuchungsgebiet mit einem bekannten Ereignis (HQ10, mittlerer Wasserstand) in Beziehung gesetzt werden können.

Bei großen Untersuchungsgebieten können somit individuelle Höhenklassen für Flussabschnitte festgelegt werden. In diesem Fall ist für jeden Flussabschnitt eine individuelle Reklassifizierung und Raster-Vektor-Konvertierung der Karte der relativen Geländehöhe vorzunehmen.

e) Prüfung und Anpassung der vorläufigen Raumeinheiten

Anhand der Isolinien der relativen Geländehöhe über dem Gewässer ist zu prüfen, ob die vorläufige Klassifizierung in 1 m-Schritten die lokalen Geländeformen/-stufen bzw. die Wasserspiegellagen von regelmäßigen Hochwasserereignissen in geeigneter Form abbildet.

Nicht optimal ist die Klassifizierung, wenn ein Großteil der Raumeinheiten zu klein (< 1 ha) ist. So war beispielsweise im Testgebiet Wupper die Raumeinheit in der Höhe von 0 bis 50 cm nicht bewertungsrelevant, da sie ausschließlich direkt am Gewässerrand auftritt und eine geringe Breite aufweist. Die Höhenstufen zur Bewertung liegen somit in diesem Fall sinnvollerweise bei 0 bis 150 cm und 151 bis 250 cm.

Ist es notwendig, die Höhenklassen an das Gebiet anzupassen, werden schließlich neue Raumeinheiten auf Basis der Rasterkarte der relativen Höhe über dem Gewässer erstellt.

Als Ergebnis des Arbeitsschrittes liegt eine gebietsspezifische Karte von Raumeinheiten gleicher relativer Geländehöhe über dem Gewässer vor (vgl. Abbildung 8).

HANGLAGEN UND GRENZEN DER RAUMEINHEITEN

Häufig stellt sich die Frage, ob Hänge ab einem bestimmten Gefälle als eigene Raumeinheit zu betrachten sind, da hier wahrscheinlich in geringerem Maß als auf ebenen Flächen Sedimente zur Ablagerung kommen. Die Abgrenzung von steilen Hängen (z. B. > 10 % Gefälle) als Raumeinheit ist jedoch nicht zielführend, da sich hier sehr kleine Flächen ergeben. Flache Hänge können im verwendeten Raumeinheitenmodell in Abhängigkeit ihrer Teilabschnitte in verschiedenen Höhenlagen differenziert werden. Es wird vereinfachend angenommen, dass die Ablagerungsdynamik im unteren Bereich eines flachen Hanges derjenigen in einer ebenen Fläche gleicht. Längere flache Hänge werden durch die Höhenstufen in unterschiedliche Raumeinheiten geteilt.

Aus dem DGM5 abgeleitete Polygone beinhalten aufgrund der Eigenschaften des 10 x 10 m-Rasters „Treppenstrukturen“ und kleine „Randpixel zwischen Raumeinheiten“. Möglichkeiten für eine Glättung wurden bei der Methodenentwicklung geprüft. Demnach ergeben die mit Hilfe von Standard-GIS-Funktionalitäten (z.B. ArcGIS-Spatial Analyst) umsetzbaren Lösungen, wie z. B. eine automatische Glättung bei der LineToPolygon-Konvertierung oder eine Nutzung von Isolinien zur Raumeinheitenabgrenzung, entweder keine sinnvollen Ergebnisse oder erfordern aufwändige Arbeiten zur Plausibilitätsprüfung und/oder händischen Überarbeitung von Polygon-Geometrien. Daher werden „Treppenstrukturen“ und „Randpixel“ in den Ergebniskarten akzeptiert.

5.2.4 Arbeitskarte „Bodenartenhauptgruppen“

Für die Bildung der Raumeinheiten wird eine Karte benötigt, die in geeignetem Maßstab, d. h. 1 : 5.000, die Bodenartenhauptgruppen darstellt. Diese Karte wird auf Grundlage der im Untersuchungsgebiet vorliegenden geeigneten Bodenkarten und/oder der Bodenschätzung erstellt (vgl. Tabelle 2). Sie enthält entsprechend der Zuordnung der Vorsorgewerte der BBodSchV die folgenden Einheiten:

- Sand,
- Lehm/Schluff,
- Ton.

Um aus vorliegenden Angaben von Bodenarten Bodenartenhauptgruppen nach BBodSchV abzuleiten, ist es notwendig, zwischen drei Datenherkünften zu unterscheiden:

a) Bodenkarten des Geologischen Dienstes NRW mit Erfassung nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5 und früher):

Hier sind in NRW die nach Kartieranleitung anhand der Ton-, Schluff- und Sandfraktionen definierten Bodenarten (Bodenartendreieck) ausgewiesen. Für Bodenkarten mit Erfassung nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung ist die Zuordnung der Bodenarten zu den Bodenartenhauptgruppen nach BBodSchV nach Tabelle 3 eindeutig möglich.

Tabelle 3: Zuordnung von Bodenarten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung zu Bodenartenhauptgruppen nach BBodSchV

Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5)		BBodSchV
Ss	Sand	Sand
Sl2	schwach lehmiger Sand	Sand
Sl3	lehmiger Sand	Sand
Sl4	stark lehmiger Sand	Lehm/Schluff
Slu	schluffig-lehmiger Sand	Lehm/Schluff
St2	schwach toniger Sand	Sand
St3	toniger Sand	Lehm/Schluff
Su2	schwach schluffiger Sand	Sand
Su3	schluffiger Sand	Sand
Su4	stark schluffiger Sand	Lehm/Schluff
Ls2	schwach sandiger Lehm	Lehm/Schluff
Ls3	sandiger Lehm	Lehm/Schluff
Ls4	stark sandiger Lehm	Lehm/Schluff
Lt2	schwach toniger Lehm	Lehm/Schluff
Lt3	toniger Lehm	Ton
Lts	sandig-toniger Lehm	Lehm/Schluff

Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5)		BBodSchV
Lu	schluffiger Lehm	Lehm/Schluff
Uu	Schluff	Lehm/Schluff
Uls	sandig-lehmiger Schluff	Lehm/Schluff
Us	sandiger Schluff	Lehm/Schluff
Ut2	schwach toniger Schluff	Lehm/Schluff
Ut3	toniger Schluff	Lehm/Schluff
Ut4	stark toniger Schluff	Lehm/Schluff
Tt	Ton	Ton
Tl	lehmiger Ton	Ton
Tu2	schwach schluffiger Ton	Ton
Tu3	schluffiger Ton	Ton
Tu4	stark schluffiger Ton	Ton
Ts2	schwach sandiger Ton	Ton
Ts3	sandiger Ton	Lehm/Schluff
Ts4	stark sandiger Ton	Lehm/Schluff

b) Grenzen und Klassenzeichen (KLZ) der Bodenschätzung, wie sie im Rahmen des Amtlichen Liegenschaftskatasters (ALK) als Folie 42 bzw. der DGK5Bo in NRW geführt werden:

Die Bodenarten im Klassenzeichen sind nach dem Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen (Korndurchmesser < 0,01 mm) definiert, also nicht nach Ton-, Schluff- und Sandfraktionen wie in der Bodenkundlichen Kartieranleitung. Die (z. T. historischen) Klassenzeichen (KLZ) sind auch in den Schätzungsflächen der Bodenkarte 1 : 5 000 auf der Grundlage der Bodenschätzung (DGK5Bo) abgedruckt. Je nach Alter der DGK5Bo sind sie überholt.

Die Tabelle 4 ist eine Empfehlung des Geologischen Dienstes NRW zur Zuordnung von Bodenarten der Klassenzeichen (KLZ) der Bodenschätzung zu den Bodenartenhauptgruppen der BBodSchV. Sie wurde aus Korngrößenanalysen an Muster- und Vergleichsstücken unter besonderer Berücksichtigung holozäner Bach- und Flussablagerungen für NRW entwickelt.

Da es für Grünland lediglich vier Mineralbodenarten im KLZ gibt, ist besonders die Zuordnung des „lS“ unbefriedigend, weil er zu 30 bis 40 % auch in die Bodenartenhauptgruppe „Sand“ nach BBodSchV fällt.

Die Bodenarten der KLZ bilden den Gesamtboden bis ca. 1 m Tiefe ab; zusätzlich geht noch der Bodenskelettgehalt mit ein. Deshalb kann – vor Allem in geschichteten Profilen – die Oberbodenart nach KA5 von der des KLZ deutlich abweichen. KLZ mit zwei Bodenarten, wie z. B. „S/T“, weisen auf einen besonders krassen Schichtwechsel zwischen Ober- und Unterboden – hier: Sand über Ton – hin.

Tabelle 4: Zuordnung von Bodenarten der Klassenzeichen der Bodenschätzung zu Bodenartenhauptgruppen nach BBodSchV

Bodenart im Klassenzeichen (KLZ) der Bodenschätzung		**Bodenartenhauptgruppe BBodSchV**
Acker	**Grünland**	
S, Sl, lS	S, (lS)	Sand
SL, sL, L	L, lS	Lehm/Schluff
LT, T	T	Ton

c) Profilsäulen zur geologisch-bodenkundlichen Interpretation der Bodenschätzung wie sie im Sonderdruck der Deutschen Grundkarte, der DGK5Bo in NRW flächendeckend erarbeitet wurde:

Hier entsprechen die Bodenarten z. T. namentlich den Bodenarten im Klassenzeichen, aber nicht deren Definition über den Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen; es sind daher hochgradig nachbereitungsbedürftige Angaben, die in Verbindung mit einem vielfältigen Attributvokabular verwendet und damit auch variiert werden und deshalb interpretiert werden müssen. Für die in den Profilsäulen genannten Bodenarten kann keine Zuordnungstabelle verwendet werden. Hier sind jeweils fach- und regionalkundige Einzelzuweisungen vorzunehmen.

Die Ableitung der Bodenartenhauptgruppen ist nach Möglichkeit auf Grundlage einer Bodenkarte 1 : 5.000 (BK5) durchzuführen. Sind keine bodenkundlichen Karten im geeigneten Maßstab vorhanden, kann die Bodenart ersatzweise auf Grundlage der Bodenschätzung abgeleitet werden (vgl. Abbildung 11). Ziel ist eine Unterscheidung der Bodenartenhauptgruppen nach bodenkundlicher Nomenklatur.

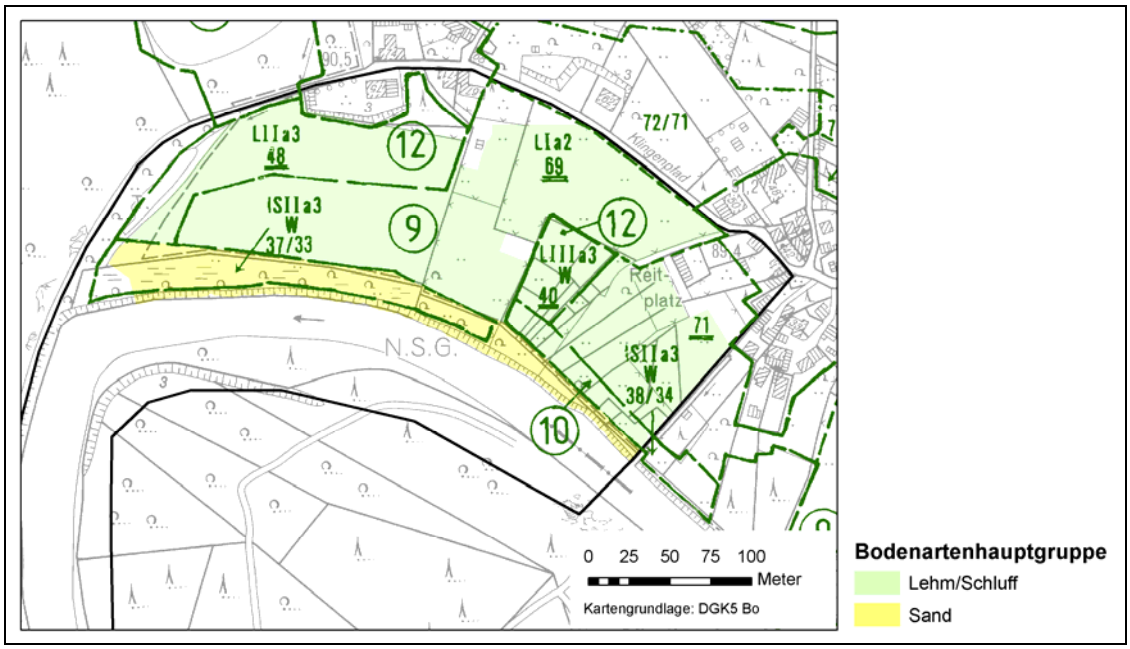


Abbildung 11: Bodenschätzung (DGK5Bo) im Testgebiet Wupper

Werden Angaben von Bodenarten aus der Bodenschätzung verwendet, sollten die abgeleiteten Bodenartenhauptgruppen im Rahmen einer Vor-Ort-Begehung im Gelände überprüft werden.

EIGNUNG DER BODENSCHÄTZUNG

Da die Bodenkarte im Maßstab 1 : 5.000 nicht flächendeckend vorhanden ist, besteht im Einzelfall die Notwendigkeit, auf die Datengrundlage der Bodenschätzung (DGK5Bo) zurückzugreifen. Die Eignung dieser Karten ist jedoch eingeschränkt. Zu beachten ist Folgendes:

- Der Erhebungszeitpunkt und damit die Datenqualität sind bei den einzelnen Kartenblättern unterschiedlich. Je nach Alter der DGK5Bo sind die angegebenen Bodeneigenschaften überholt. Hinweise zur Qualität (z. B. Alter) sind beim Geologischen Dienst NRW verfügbar.
- Die Angaben zur Bodenart im Klassenzeichen und in den Profilsäulen der DGK5Bo sind nicht 1 : 1 auf die Bodenarten nach BBodSchV übertragbar.

Hinweise zu Verwendung von Informationen der Bodenschätzung werden im Modellvorhaben des LANUV zur Harmonisierung der Bodenfunktionsbewertung auf Grundlage großmaßstäbiger Bodenkarten (Ingenieurbüro Feldwisch 2008) gegeben.

5.2.5 Arbeitskarte „Aktuelle Landnutzung“

Es ist für jedes Untersuchungsgebiet zu prüfen, ob die Landnutzung für die Schadstoffbelastung der Böden relevant ist und ob sie bei der Bildung von Raumeinheiten berücksichtigt wird. Soll die aktuelle Nutzung einbezogen werden, ist auf Basis von geeigneten Daten (vgl. Tabelle 2) eine Karte im Maßstab 1 : 5.000 mit folgenden Einheiten zu erstellen:

- Ackerbau,
- flächenhafter, dauerhafter Anbau von Sonderkulturen,
- Grünland und Brachflächen,
- Forst und sonstige Nutzungen (werden i. d. R. als Ausschlussflächen behandelt).

Eine Vor-Ort-Überprüfung der Karte der aktuellen Nutzung ist notwendig, wenn diese anhand von nicht aktuellen Daten abgeleitet wurden.

Eine Prüfung der Relevanz von Nutzungseinflüssen im Untersuchungsgebiet wird empfohlen, um eine mögliche Überlagerung des Nutzungseinflusses durch das Überflutungsgeschehen zu identifizieren und ggf. zu berücksichtigen. Beispielsweise konnten in den zwei untersuchten Testgebieten keine signifikanten Unterschiede der Schwermetallgehalte zwischen Acker-, Grünland- und Brachflächen festgestellt werden. Auch die Nutzungshistorie ergab keine Anhaltspunkte für Abhängigkeiten. In Flussauen kommt es häufig zu Nutzungswechseln auf den landwirtschaftlichen Flächen. Diese können die Ursache dafür sein, dass sich die Schadstoffgehalte zwischen Acker- und Grünlandflächen nicht signifikant unterscheiden. Gleichwohl wurden im Rahmen von Untersuchungen des LANUV in NRW bei anderen Stoffen (z.B. PAK, PCB oder Dioxine) teilweise signifikante Unterschiede zwischen Acker- und Grünlandflächen festgestellt.

Wird die Landnutzung nicht bei der Bildung berücksichtigt, enthält die Arbeitskarte „Aktuelle Landnutzung“ die o.g. Nutzungsarten als zusammengefasste Einheit.

Die Arbeitskarte „Aktuelle Landnutzung“ bezieht insbesondere naturnahe Flächen ein, da der Überschwemmungseinfluss hier die anthropogenen Einflüsse für Schadstoffbelastungen überlagert. Im Regelfall besteht insbesondere Informationsbedarf für landwirtschaftlich genutzte Flächen, da sich hier auf Grund möglicher Schadstoffbelastungen ein vorrangiger Bedarf für Maßnahmen ergeben kann.

In Gebieten, in denen kleinräumige Siedlungseinflüsse die Schadstoffeinträge durch Überschwemmungen in aller Regel überlagern, ist die Methode zur Erstellung von BBK für den Siedlungsbereich anzuwenden (LANUV NRW 2007b). Damit können stoffliche Bodenbelastungen in Gärten, Kinderspielflächen, Wohngebieten, Park- und Freizeitanlagen sowie Industrie- und Gewerbeflächen innerhalb von Überflutungsflächen dargestellt werden.

In bestimmten Fällen, d. h. wenn der Überschwemmungseinfluss auch in Siedlungsbereichen als bestimmend angenommen werden kann, ist es möglich, die vorliegende Methode zur räumlichen Darstellung von Schadstoffgehalten im Siedlungsbereich anzuwenden.

5.2.6 Arbeitskarte „Deichvor- und Deichhinterland“

Sind im Untersuchungsgebiet Deichanlagen vorhanden, müssen diese räumlich abgegrenzt werden. Ziel ist es, z. B. durch Digitalisierung topographischer Karten (vgl. Tabelle 2), zwei Raumeinheiten abzugrenzen:

- *Deichvorland*
  Gebiete, die rezent überflutet werden und auf denen Sediment erodiert und/oder akkumuliert wird
  Das Deichvorland unterliegt einer „kurzfristigen“ fluviatilen Dynamik. Die stattfindenden Prozesse werden hauptsächlich durch Sedimentation und/oder Erosion von Material (zyklisch) beeinflusst. Dabei können die Schadstoffgehalte der verschiedenen Sedimente erheblich variieren. Der bewertungsrelevante oberflächennahe Schadstoffgehalt wird somit durch fluviatile und pedogenetische Prozesse bestimmt.

- *Deichhinterland*
  Gebiete, die zeitweise durch Qualmwasser überflutet werden und auf denen aktuell (nahezu) kein fluviatiles Sediment abgelagert oder großräumig umgelagert wird
  Die in Böden des Deichhinterlandes vorhandenen Schadstoffe werden durch Qualmwasser sowie pedogenetische Prozesse beeinflusst. Im Vergleich zum Deichvorland sind rezente partikelgebundene Stoffeinträge durch Überschwemmungen stark eingeschränkt bzw. kaum vorhanden. Stofftransporte finden hauptsächlich in gelöster Form statt, sind jedoch in ihrer Quantität im Vergleich zur rezenten Aue mit ihrer aktiven Sedimentationsdynamik eher als untergeordnet zu bewerten.
  Für diese Raumeinheit ist zu prüfen, welche Einflussfaktoren für Schadstoffanreicherungen maßgeblich sind; z. B. kann hier eine langfristige Nutzung den Überschwemmungseinfluss überprägen.

Flächen innerhalb der abgegrenzten Gebiete, die nur in geringem Maß oder aktuell gar nicht von Überschwemmungsereignissen betroffen sind (z. B. durch Deichbau oder Sohlenrinnenvertiefung u. a.), sollten nach einer Prüfung der Geländestrukturen von der gesonderten Betrachtung der Auengebiete ausgenommen werden. Dies sollte dann geschehen, wenn die historischen Geländestrukturen durch die anthropogene Nutzung deutlich überprägt sind. Die Stoffgehalte dieser Flächen können mit der BBK-Methode nach LUA NRW (2000b) oder LANUV NRW (2007b) ohne Berücksichtigung des Überschwemmungseinflusses berechnet werden.

Liegen im Deichhinterland noch weitestgehend auentypische Geländestrukturen bzw. Bodenbelastungen vor, kann das Deichhinterland in die Untersuchung nach dem vorliegenden Leitfaden einbezogen werden.

5.2.7 Arbeitskarte „Aufschüttungen und Abgrabungen“

Im Bereich von Aufschüttungen und Abgrabungen innerhalb von Überflutungsgebieten sind die Stoffgehalte der Böden ggf. durch anthropogene Einflüsse geprägt. Sofern Aufschüttungen und Abgrabungen einen relevanten Flächenanteil im Untersuchungsgebiet einnehmen, können die Flächen als eigene Raumeinheiten behandelt werden.

Aufschüttungen und Abgrabungen können ansatzweise über das bei den Unteren Bodenschutzbehörden geführte Altlastenkataster identifiziert werden. Da dieses in der Regel nicht vollständig ist, sind weitere Datengrundlagen heranzuziehen. Geeignet ist hier die Deutsche Grundkarte im Maßstab 1 : 5.000 sowie historische Karten und Luftbilder sowie Bodenkarten im Maßstab 1 : 5.000. Die in den Karten dargestellten Aufschüttungen und Abgrabungen (z. B. Böschungsschraffuren in der DGK5) können durch Digitalisierung erfasst werden. Gegebenenfalls liegen auch weitere Karten zu Auffüllungen und Abgrabungen bei den Unteren Bodenschutzbehörden oder Bergämtern vor (z. B. analoge Flurkarten, Haldenkarten) (vgl. Tabelle 2).

Historische Karten liefern zudem wertvolle Informationen über Veränderungen des Gewässerverlaufs (vgl. Abbildung 12). Im Bereich von ehemaligen Altarmen ist z. B. mit umgelagertem Bodenmaterial zu rechnen.

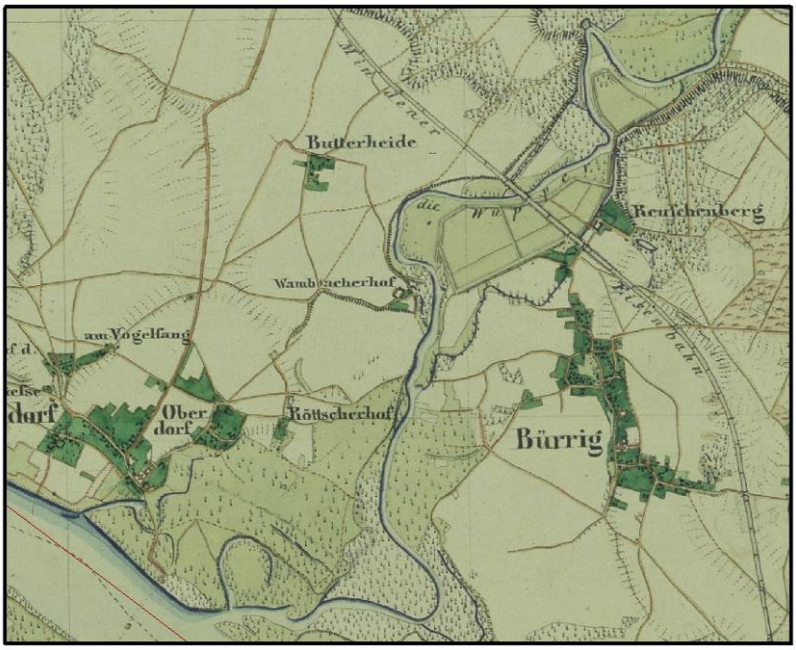
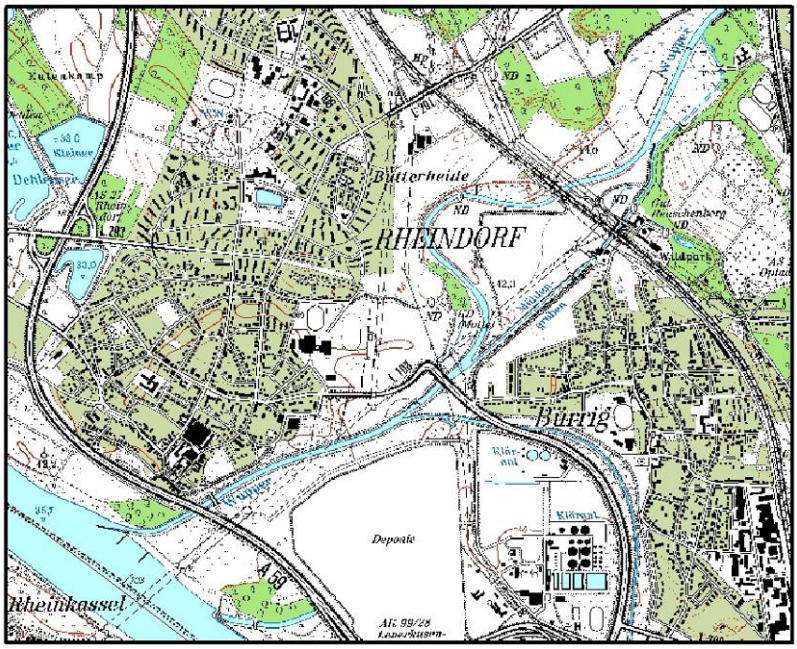


Abbildung 12-1: Mündungsbereich der Wupper in den Rhein



Aktuelle Topographische
Karte 1 : 25.0000
Blatt 4907 – Leverkusen

Abbildung 12-2: Mündungsbereich der Wupper in den Rhein

5.3 Definieren von Ausschluss- und Bewertungsflächen

Nicht alle Flächen im Überflutungsgebiet werden in die Untersuchung einbezogen. Folgende Flächen sind im Untersuchungsgebiet als Ausschlussflächen abzugrenzen:

- Wasserflächen (Standgewässer, Flusslauf),
- Altlasten (Altstandorte und Altablagerungen),
- Moore, die nicht landwirtschaftlich genutzt werden,
- Forstflächen,
- verschiedene anthropogen beeinflusste Böden: Aufschüttungen und Abgrabungen (sofern sie nicht als eigene Raumeinheit ausgewiesen werden), umgelagerte Böden, Standorte ehemaliger Gebäude (z. B. Kotten, Fährhäuser).

Datenquellen zur Erfassung der Ausschlussflächen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Gründe für den Ausschluss sollten für jede Fläche dokumentiert werden. In Einzelfällen ist vor Ausschluss von Flächen eine Vor-Ort-Überprüfung zu empfehlen (z. B. für Moore). Es ist auch möglich, großflächig auftretende, anthropogen beeinflusste Böden (z. B. Aufschüttungen) in die Untersuchung mit aufzunehmen, wenn davon auszugehen ist, dass die Oberböden maßgeblich durch die Sedimente des betrachteten Flusssystems beeinflusst sind. Die Möglichkeit einer Aufnahme von ähnlichen großflächig auftretenden, anthropogenen Böden (als eigene Raumeinheit) ist im Einzelfall zu prüfen.

Durch eine Verschneidung und Reduzierung des Untersuchungsgebietes um die Ausschlussflächen[18] ergibt sich das bewertungsrelevante Gebiet.

Gegenstand der Bewertung sind Flächen, die in Abhängigkeit ihrer Nutzung bodenschutzrechtlich zu bewerten sind. Dabei handelt es sich nach Ausschluss der o. g. Flächen um landwirtschaftlich genutzte Flächen (Acker und Grünland).

5.4 Erstellen einer vorläufigen Karte der Raumeinheiten

Innerhalb des bewertungsrelevanten Gebietes (vgl. Kapitel 5.3) werden Raumeinheiten gebildet. Nach einer Plausibilitätsprüfung werden die Arbeitskarten für die einzelnen Einflussfaktoren verschnitten[19] (vgl. Abbildung 13). Ergebnis ist eine vorläufige Karte der Raumeinheiten (vgl. Abbildung 14).

Nach Bildung der Raumeinheiten ist eine weitere visuelle Plausibilitätsprüfung sinnvoll. Als Interpretationshilfe können dazu auch Zusatzinformationen genutzt werden, wie z. B. Grenzen von Überschwemmungsgebieten aus verschiedenen Datenquellen oder Wasserspiegellagen häufiger Hochwasserereignisse.

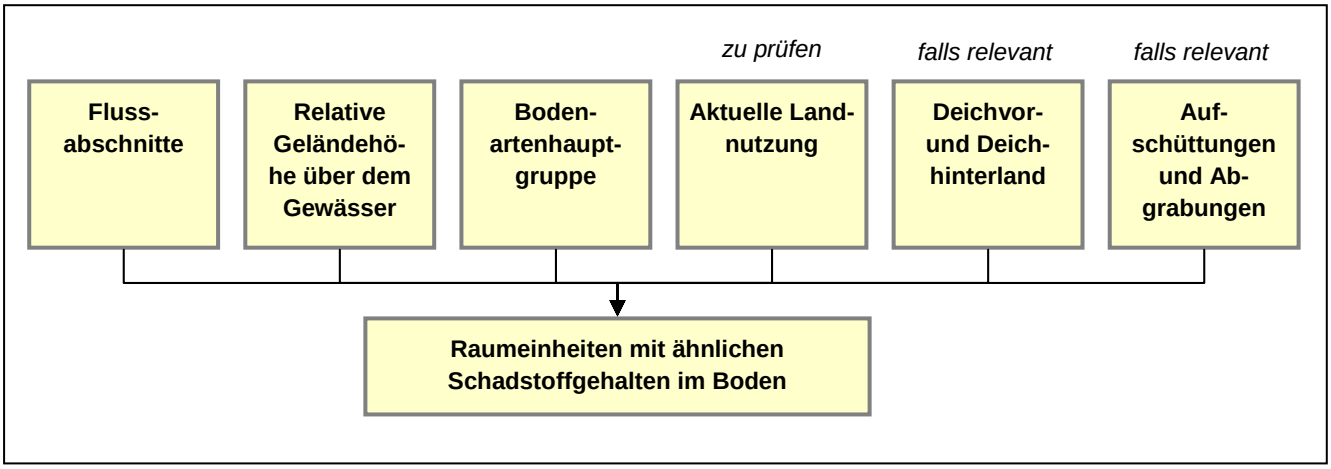


Abbildung 13: Verschneidung der Arbeitskarten

[18] Z. B. ArcGIS-Funktion *UNION* und Entfernen der Ausschlussflächen.

[19] Z. B. ArcGIS-Funktion *UNION.*

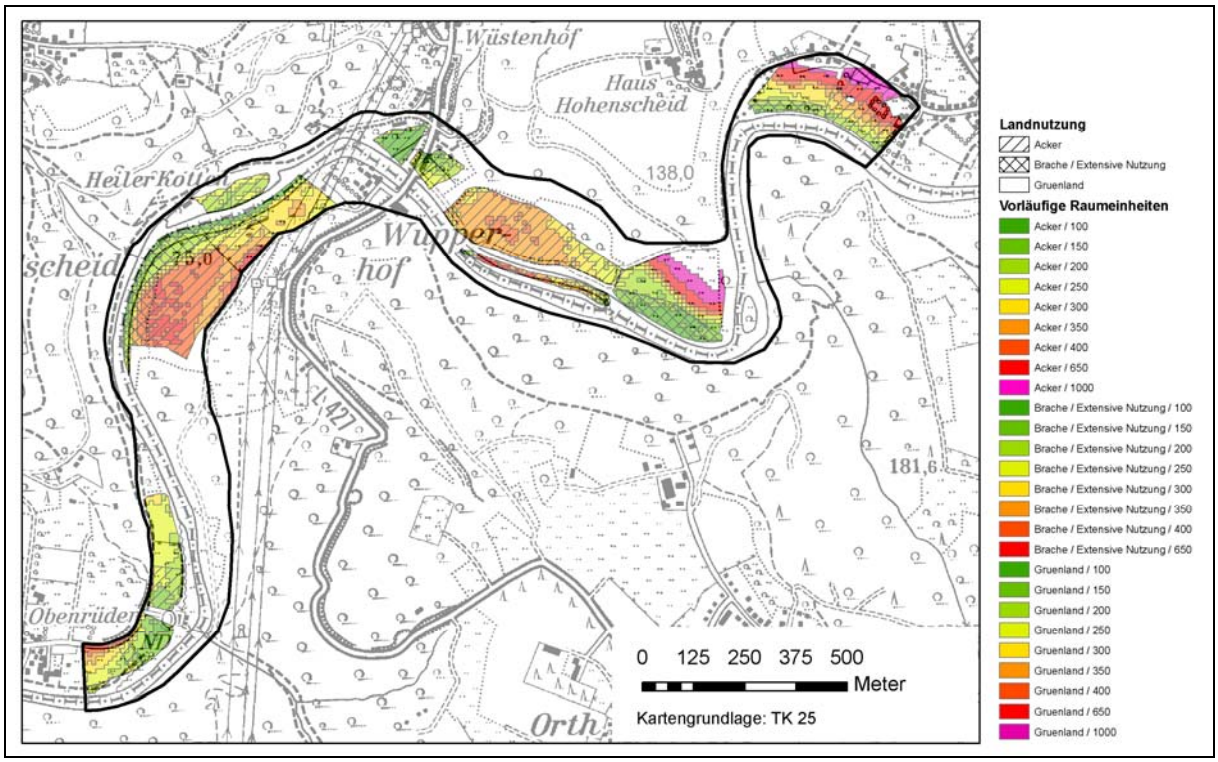


Abbildung 14: Vorläufige Karte der Raumeinheiten im Testgebiet Wupper

Die Flächengrößen der Raumeinheiten sollten berechnet werden, um ihre Relevanz im Untersuchungsgebiet zu prüfen. Stellt sich heraus, dass das Modell zu kleinteilig ist, d. h. dass eine hohe Anzahl von Raumeinheiten vorliegt, sollten aus Praktikabilitätsgründen Einheiten in Arbeitskarten zusammengefasst werden.

Praktische Entscheidungskriterien für eine Zusammenfassung von Raumeinheiten sind

- die Handhabbarkeit von Flächen bei der Umsetzung von Maßnahmen (Mindestflächengröße),
- der maximal mögliche Untersuchungsaufwand (es sind mindestens 10 Proben pro Raumeinheit notwendig).

Kleinstflächen, die durch die Einbeziehung des DGM-Rasters an den Raumeinheitengrenzen oder innerhalb größerer Raumeinheiten entstehen, bleiben für eine vollständige Flächenbilanz in der Karte erhalten.

In ihrer Größe unbedeutende Raumeinheiten können auch aus der Bewertung ausgeschlossen werden (z. B. Auen in engen Tälern).

In den nächsten Arbeitsschritten werden die Schadstoffgehalte im Boden innerhalb der Einheiten der vorläufigen Karte der Raumeinheiten untersucht. Zur Erstellung der endgültigen Karte der Raumeinheiten kann eine Zusammenfassung der Einheiten, die ähnliche Stoffgehalte aufweisen, sinnvoll sein.

5.5 Ergänzende Raumanalysen

Das vorangehend beschriebene Raumeinheitenmodell beruht vor Allem auf der Auswertung der relativen Höhenlage des Geländes über dem Gewässer. Zur Plausibilisierung und insbesondere als Hintergrund für die Messnetzplanung ist es sinnvoll, ergänzende GIS-gestützte Auswertungen des verwendeten Digitalen Geländemodells (DGM) vorzunehmen.

Um Geländestufen zu identifizieren, die z. B. bei der Messnetzplanung ausgeklammert werden, wird die Hangneigung zwischen benachbarten Rasterzellen des DGM in Prozent berechnet (Steigung/Strecke)[20] (vgl. Abbildung 15).

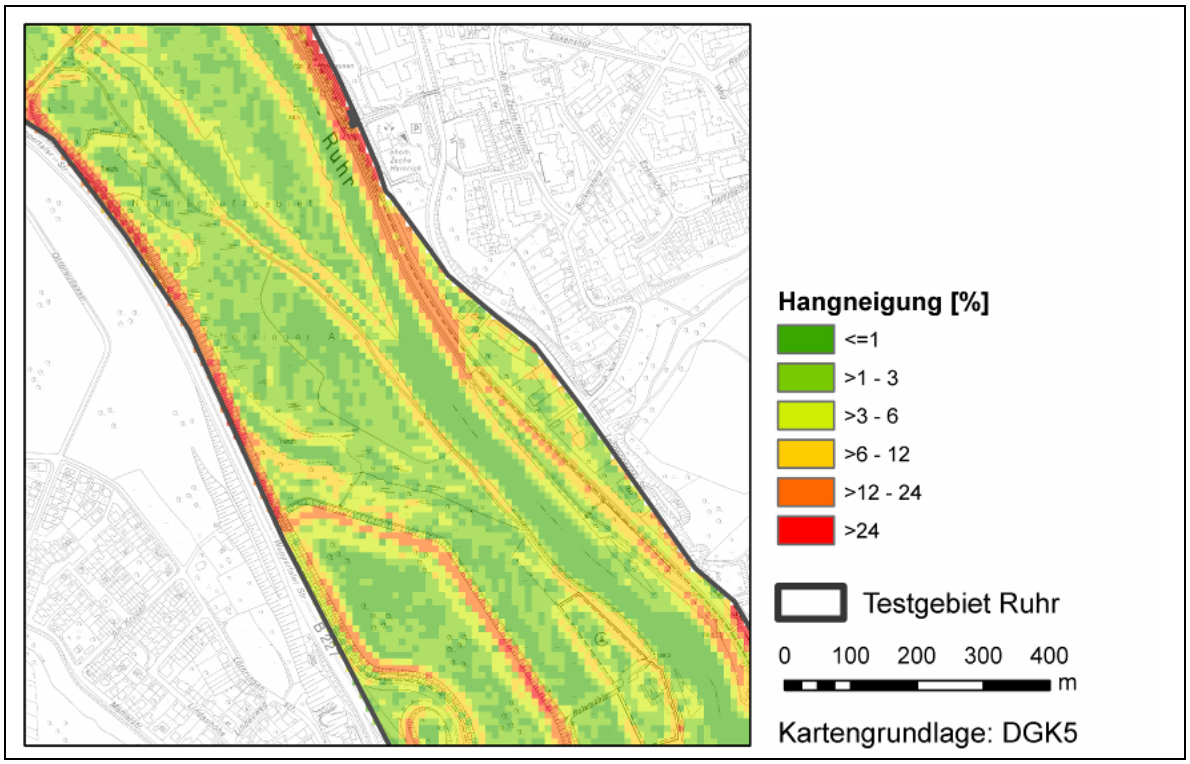


Abbildung 15: Hangneigung im Testgebiet Ruhr

Eine Oberflächenanalyse dient zur Ermittlung von Geländesenken aus dem DGM. Diese Senken können zur Plausibilitätsprüfung der ermittelten Raumeinheiten und zur Unterstützung bei der Messnetzplanung herangezogen werden (z. B. gezielte Beprobung von Senken wegen möglicher Schadstoffanreicherungen).

[20] Z. B. ArcGIS Spatial Analyst-Funktion Slope, ggf. mit Z-Faktor 0,01 zur Umrechnung der Z-Werte von cm in Map Units [m].

Hierzu wird im ersten Schritt die Fließrichtung für jede Rasterzelle des DGM5 berechnet[21]. Im zweiten Schritt werden die Geländesenken identifiziert, indem das Fließrichtungs-Raster ausgewertet wird[22]. Ergebnis ist ein Raster von abflusslosen Geländesenken (s. Abbildung 16).

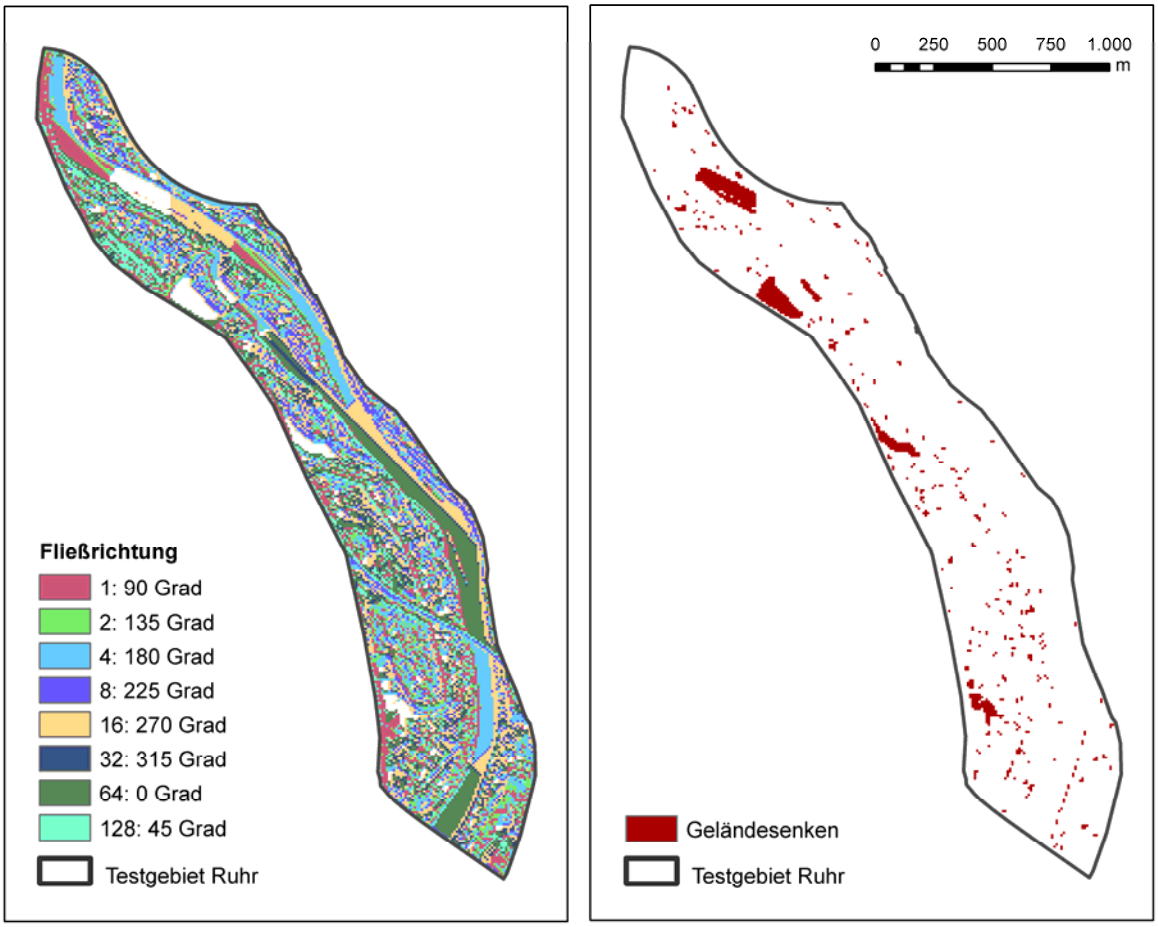


Abbildung 16: Fließrichtung für Rasterzellen und Geländesenken im Testgebiet Ruhr

Es ist zu beachten, dass ausschließlich abflusslose Mulden identifiziert werden. Geländesenken mit Abfluss können mit der verwendeten Standard-Funktion nicht ermittelt werden. Diese können jedoch durch Auswertung von Isolinien der relativen Höhe über dem Gewässer identifiziert werden (vgl. Kapitel 5.2.3) und so in die Plausibilitätsprüfung des Raumeinheitenmodells und zur Messnetzplanung herangezogen werden.

Durch Invertieren des DGM5[23] können nach dem gleichen Verfahren wie für die Muldenermittlung auch Geländeerhebungen identifiziert werden, die an allen Seiten abfallen. Auch diese können bei der Plausibilitätsprüfung des Raumeinheitenmodells und der Messnetzplanung berücksichtigt werden.

[21] Z.B. ArcGIS Spatial Analyst-Funktion Flow Direction.

[22] Z.B. ArcGIS Spatial Analyst-Funktion Sink.

[23] Multiplikation mit -1; z. B. mit ArcGIS Spatial Analyst-Funktion Raster Calculator.

6 Probenahme und Analytik

Ziel der Probenahme und Analytik ist es, die in den vorangehenden Schritten erstellten Raumeinheiten jeweils mit einer hinreichenden Anzahl von Bodenproben zu untersuchen. Dazu werden – unter Berücksichtigung vorhandener Untersuchungsergebnisse – Bodenproben entnommen und auf ihre Schadstoffgehalte analysiert.

Zunächst sollte eine größtmögliche Zahl an Bodenbeprobungsdaten aus dem FachInformationsSystem Stoffliche Bodenbelastung NRW (FIS StoBo)[24] genutzt werden. Die Datenqualität sollte nach den in den BBK-Leitfäden (LUA NRW 2000b, LANUV NRW 2007b – insbesondere Kap. 6.1.2.1) vorgegebenen Kriterien wie Standortbeschreibung, Beprobungstiefe, topographische Lage, Bestimmungsgrenze und Analyseverfahren, Analysendatum etc. geprüft werden.

Bei Veränderungen in der Flussaue, wie z. B. Umlagerungen von Bodenmaterial, sollte die Validität und Aktualität vorhandener Analysenergebnisse besonders geprüft und das Alter der Bodenproben berücksichtigt werden. Auf Grund der häufig kleinräumigen Wechsel von Bodeneigenschaften und Geländeform sollten nur Daten mit einer räumlichen Genauigkeit von mindestens 1 m verwendet werden. Vorhandene Entnahmestellen sollten auf Grundlage der Karte der Raumeinheiten dahingehend geprüft werden, ob sie in Randnähe der jeweiligen Raumeinheit liegen. Kann der Punkt auf Grund von Angaben aus dem Feldprotokoll (z. B. Hangneigung, Mikrorelief) nicht eindeutig einer Raumeinheit zugeordnet werden, ist er auszuschließen.

Sind im bewertungsrelevanten Gebiet nicht in ausreichendem Umfang Messergebnisse für Schadstoffe im Boden vorhanden, ist das Messnetz durch ergänzende Probenahmen zu verdichten (vgl. Kapitel 6.1 bis 6.3).

6.1 Messnetzplanung

Ziel der Messnetzplanung ist die Verdichtung der Probenahmestellen in bisher wenig untersuchten Gebieten oder in Gebieten, für die eine hohe Belastung erwartet wird. Das verdichtete Messnetz soll eine Repräsentativität der unterschiedlichen Auenböden und Überflutungsregimes sowie der Schadstoffszenarien gewährleisten. Hauptziel ist es, eine für statistische Auswertungen ausreichend große Anzahl an Werten für die verschiedenen Raumeinheiten zu erhalten. Die Planung wird GIS-gestützt auf Grundlage der Karte der Raumeinheiten vorgenommen.

Grundsätzlich erfordert die kleinräumige Variabilität der Schadstoffbelastung in Auenbereichen ein dichteres Messnetz als in Gebieten ohne Überschwemmungseinfluss.

[24] http://www.lanuv.nrw.de/boden/bodeninfo/fisstobo/fisstobo.html

Ein optimales Beprobungsnetz in Überflutungsgebieten enthält

- mindestens 10 Proben pro Raumeinheit,
- mindestens 10 Proben/km²,
- ausreichenden Abstand der Beprobungspunkte zur Raumeinheitengrenze.

Die Beprobungsdichte ist jeweils an die lokalen Bedingungen des Einzelfalls anzupassen, wobei die Vorgaben des Anhangs 1 BBodSchV zu berücksichtigen sind. Bei vorliegenden Hinweisen auf Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte kann es sinnvoll sein, jedes Flurstück mit mindestens einer Probe zu belegen.

Die räumliche Verteilung der Probenahmestandorte im gesamten Untersuchungsgebiet ist zu berücksichtigen, d. h. Raumeinheiten, die im Längsverlauf des Gewässers an verschiedenen Stellen vorkommen, sollten möglichst in allen Teilflächen beprobt werden.

Das Mikrorelief innerhalb von Raumeinheiten sollte möglichst repräsentativ beprobt werden. Bei der Messnetzplanung sollte keine reine Zufallsverteilung der Entnahmestellen erfolgen, sondern nach Möglichkeit das Flächenverhältnis von Kuppen, ebenen Bereichen und Senken berücksichtigt werden. Mit einer gezielten Beprobung von Senken, Fließrinnen (Mikrorelief) und Flugsanddecken im Auenbereich können in der Regel Minimal- und Maximalwerte von Schadstoffgehalten innerhalb von Raumeinheiten erfasst werden. Mulden und Erhebungen können anhand der in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Isolinien der relativen Geländehöhe über dem Gewässer identifiziert und bei der Messnetzplanung berücksichtigt werden.

Eine Überblicksbegehung des Untersuchungsgebietes ist unerlässlich, um die auf Basis der vorliegenden Karten festgelegten Probenahmestellen an die Vor-Ort-Bedingungen anzupassen (vor Allem im Hinblick auf die Geländeform und Nutzung). Nur wenn eine Entnahmestelle die gewählten Voraussetzungen erfüllt (relative Höhe über dem Gewässer, Mulde, Bodenart etc.), wird sie endgültig festgelegt. Gegebenenfalls sind Punkte in die gewünschte Raumeinheit zu verlegen.

6.2 Entnahme von Bodenproben und Analytik

Die Entnahme, Vorbehandlung und Analytik der Bodenproben und die Qualitätssicherung werden nach den BBK-Leitfäden (LUA NRW 2000b, LANUV NRW 2007b) durchgeführt.

Es wird vorgeschlagen, Mischproben aus mindestens neun Einstichen auf einer definierten Fläche (Kreis mit Durchmesser ca. 10 m) zu entnehmen (LUA NRW 2000b). Wegen der kleinräumigen Geländeformen sollte in Auenbereichen bei Bedarf vom kreisförmigen Entnahmemuster abgewichen werden. Je nach Beprobungssituation und Geländeform (z. B. Beprobung von Rinne) kann auch ein Oval oder ein Viereck herangezogen werden. Ziel ist es, ein möglichst einheitlich ausgeprägtes Areal zu beproben.

Besonderer Wert ist auf die Beschreibung der Probenahmefläche zu legen, um später die Messergebnisse interpretieren zu können (z. B. Senke: Oval mit Ausdehnung von ca. 4 x 5 m, Kuppe, Rinne, Wasserstand etc.).

Bei häufigen Nutzungswechseln auf landwirtschaftlichen Flächen ist eine einheitliche Beprobungstiefe von 10 cm (Standard für Grünland) auch für Ackerbau sinnvoll.

Für bestimmte Fragestellungen (Vorratsberechnung, Bilanzen) ist darüber hinaus eine volumenbezogene (z. B. Stechzylinder-)Beprobung zur Ermittlung der Rohdichte (trocken) nach Vorgabe des BBK-Leitfadens (LUA NRW 2000b) sinnvoll.

Im Einzelfall kann das Untersuchungsprogramm auf Unterböden ausgeweitet werden, da Auenböden ständig Umlagerungsprozessen ausgesetzt und auch in Unterböden häufig Schadstoffe angereichert sind (z.B. durch historische Belastungen, Baggerarbeiten oder Pflügen). Sinnvoll ist hier eine Anpassung der Entnahmetiefen an den Nutzungszweck, z.B. von 10 bis 30 cm auf Ackerflächen oder bei geplanten Umlagerungen bis zur vorgesehen Eingriffstiefe.

Im Regelfall werden die Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer, Chrom, Nickel, Quecksilber, Zink, Thallium sowie Arsen, PAK und PCB untersucht. Daneben sind die in den BBK-Leitfäden (LUA NRW 2000b, LANUV NRW 2007b) genannten Begleitparameter zu bestimmen: pH-Wert, C_{org}-Gehalt, Bodenart, Wassergehalt/Trockenrückstand, ggf. Trockenrohdichte. Sind in einem Untersuchungsgebiet ausreichend Vorinformationen vorhanden und bestehen keine Anhaltspunkte z. B. für Belastungen mit ausgewählten organischen Schadstoffen, kann der Parameterumfang eingeschränkt werden. Ebenso kann das Parameterspektrum auf Grund von Eintragsquellen für andere Schadstoffe im Einzugsgebiet (z. B. PFT) erweitert werden.

Die Aufbewahrung von Rückstellproben zumindest während der Laufzeit des Untersuchungsprogramms wird empfohlen, so dass ggf. Nachanalysen möglich sind.

6.3 Plausibilitätsprüfung und Validierung der Messdaten

Alle recherchierten und neu erhobenen Messdaten über Schadstoffgehalte in Böden werden auf Plausibilität geprüft. Geprüft wird auf korrekte Zuordnung zur Probe, eventuelle Zahlendreher, verschobene Nachkommastellen, geeignete Beprobungstiefe u. a. Eine Validierung der Daten erfolgt nach den Vorgaben der BBK-Leitfäden (LUA NRW 2000b, LANUV NRW 2007b). Wurde die Bestimmungsgrenze nicht erreicht, werden Messwerte für die Auswertung halbiert.

7 Datenauswertung und Prüfung der Raumeinheiten

Ziel des fünften Arbeitsschrittes ist es, die vorläufige Karte der Raumeinheiten zu überprüfen und statistische Kenngrößen für die einzelnen Raumeinheiten abzuleiten. Diese dienen dann als Eingangsdaten zur Erstellung der Bewertungskarte (vgl. Kap. 8).

Die Teilschritte der Datenvorbereitung, Prüfung und Anpassung der Raumeinheiten an die Messergebnisse sowie das Ableiten von statistischen Kenngrößen für Schadstoffgehalte in Raumeinheiten werden in den Kapiteln 7.1 bis 7.3 beschrieben[25].

Für die statistischen Auswertungen können Statistikprogramme wie z. B. *SPSS / PASW Statistics*, teilweise auch Tabellenkalkulationsprogramme wie z. B. *MS Excel* eingesetzt werden.

7.1 Datenvorbereitung

Alle validen Analysedaten werden den vorläufigen Raumeinheiten (vgl. Kapitel 5) zugeordnet. Bei der Zuordnung sind eventuelle Verlegungen von Entnahmestellen zu berücksichtigen. Durch eine Visualisierung der Messwerte im GIS sollten erste Überblicksauswertungen zur Werteverteilung und zu räumlichen Belastungsmustern durchgeführt werden.

Für detaillierte statistische Auswertungen zu den Belastungsursachen (vgl. Kap. 7.3) sind die in den Feldprotokollen aufgenommenen Angaben (z. B. zum Mikrorelief) und die Messwerte der Stoffgehalte und Begleitparameter den Entnahmestellen zuzuordnen. Nominal skalierte Variablen (z. B. Bodenart) sind ggf. zu gruppieren. Die aus dem DGM5 ermittelte relative Geländehöhe über dem Gewässer wird jeder Entnahmestelle zugewiesen.

7.2 Prüfung und Anpassen der Raumeinheiten an die Messergebnisse

Anhand der vorliegenden Messdaten wird nun geprüft, ob die vorläufigen Raumeinheiten die Schadstoffgehalte im bewertungsrelevanten Gebiet sinnvoll abbilden.

Die Datenkollektive der vorläufigen Raumeinheiten werden dazu mit deskriptiven statistischen Methoden beschrieben. Hier bieten sich z. B. Boxplots an, die die Werteverteilung anhand ihrer Spannweite, des Interquartilbereichs, des Medians sowie Ausreißern und Extremwerten darstellen (vgl. Abbildung 17).

[25] Umfangreiche Ausführungen zu statistischen Methoden enthält auch der BBK-Leitfaden für Siedlungsbereiche (LANUV NRW 2007b – Anhang A3).

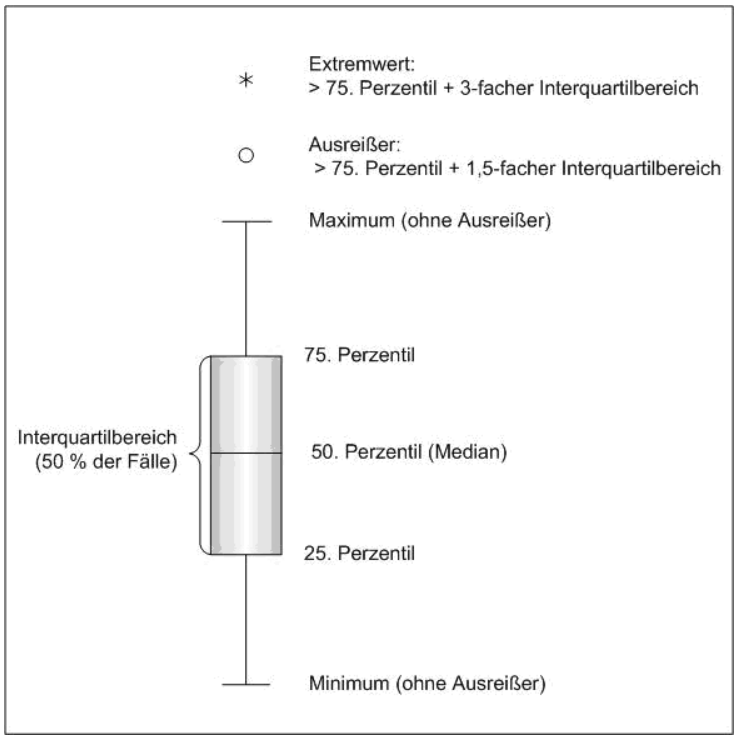
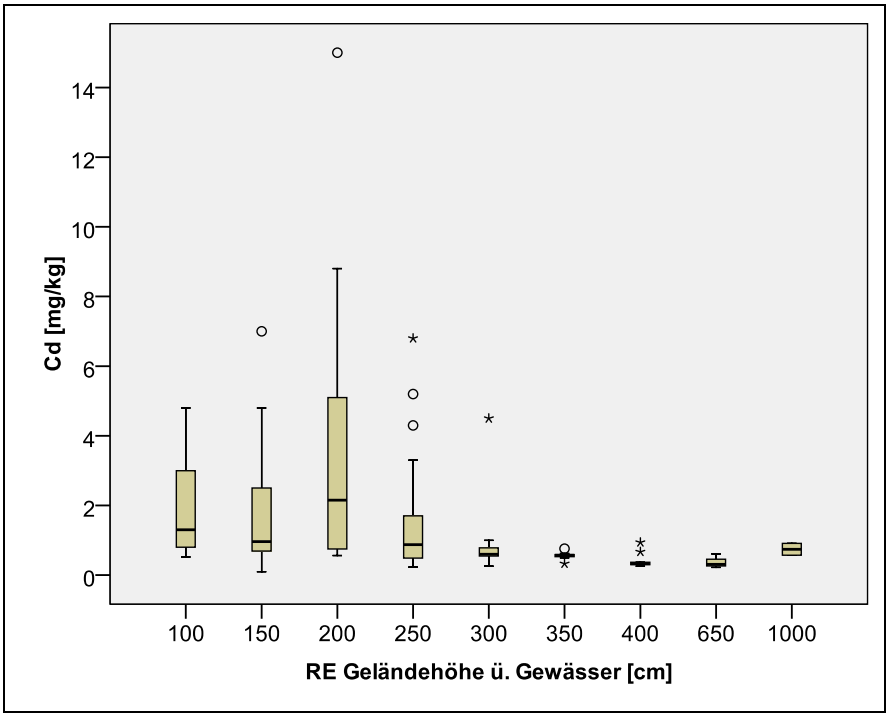


Abbildung 17: Aufbau eines Boxplots

Anhand der Werteverteilungen innerhalb der Raumeinheiten ist zu prüfen, ob Raumeinheiten zusammengefasst oder weiter untergliedert werden können. Eine Betrachtung einzelner Einflussfaktoren (z. B. Geländehöhe gegenüber der Gewässeroberfläche) ist darüber hinaus hilfreich, um festzustellen, ob und welche Einheiten der in Kapitel 5 erstellten Arbeitskarten zusammengefasst werden können (vgl. Abbildung 18).

Grundsätzlich werden jeweils die Messwerte aller untersuchten Schadstoffe ausgewertet, um ein Raumeinheitenmodell zu entwickeln, das die Gehalte aller Schadstoffe bestmöglich abbildet. Mit Hilfe von Regressionsanalysen können ggf. Leitparameter für die Bewertung identifiziert werden, wenn zwischen den Gehalten einzelner untersuchter Stoffe enge Zusammenhänge festgestellt werden.



RE	100	150	200	250	300	350	400	650	1000
N	9	13	14	22	11	13	9	7	2

Abbildung 18: Cadmiumgehalte in Oberböden innerhalb von Raumeinheiten gleicher relativer Geländehöhe über dem Gewässer (Bsp. Testgebiet Wupper)

Ziel ist es, für die Raumeinheiten „hinreichend homogene“ Datenkollektive zur belastbaren Bewertung nach Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten heranziehen zu können. Wann eine Werteverteilung als hinreichend homogen anzusehen ist, sollte individuell in jedem Untersuchungsgebiet vor dem Hintergrund der Größe des Untersuchungsgebietes, der Heterogenität der Bodeneigenschaften und des machbaren Beprobungsaufwands entschieden werden. Die Raumeinheiten sollten so gebildet werden, dass die Variabilität ihrer Schadstoffgehalte minimiert wird.

Sollte sich zeigen, dass die Schadstoffgehalte innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes hinreichend homogen verteilt sind, ist keine Bildung von Raumeinheiten zur Bewertung und Erstellung einer Bewertungskarte erforderlich. Im Rahmen der Methodenentwicklung im Testgebiet Ruhr zeigte sich weitgehend für alle untersuchten Schwermetalle eine Normalverteilung, die auf eine hinreichende Homogenität der Werte hindeutet (Zufallsverteilung).

Zusammenfassung von Raumeinheiten

Es sollte geprüft werden, ob, Raumeinheiten mit ähnlichen Schadstoffgehalten zusammengefasst werden können. Dazu werden folgende Arbeitsschritte optional empfohlen[26]:

a) **Identifizieren von ähnlichen Raumeinheiten**

Untersuchung der Werteverteilung anhand statistischer Kenngrößen (z. B. Perzentilwerte, Interquartilabstand); zur Visualisierung sind z. B. Boxplots geeignet (vgl. Abbildung 18).

b) **Statistische Prüfung der ähnlichen Raumeinheiten auf Gleichheit**

- **Vergleich mehrerer Raumeinheiten**

  Geeignet ist z. B. der Kruskal-Wallis-Test für mehrere Stichproben. Bei Bestätigung signifikanter Unterschiede zwischen mehreren Stichproben erfolgt eine Wiederholung des Tests mit einer geringen Anzahl von Stichproben, um Differenzen zwischen den Stichproben herauszuarbeiten.

- **Vergleich von zwei Raumeinheiten**

  Geeignet sind z. B. der Kolmogorov-Smirnov-Test für zwei Stichproben oder der Chi-Quadrat-Test zum Vergleich von Verteilungen. Wenn keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (keine Ablehnung der Nullhypothese „H0: Beide Stichproben stammen aus Grundgesamtheiten mit gleicher Verteilung“ auf Signifikanzniveau von 5 %), werden die entsprechenden Raumeinheiten zusammengefasst.

Die oben genannten statistischen Verfahren haben sich bei vergleichbaren Datenauswertungen zur stofflichen Bodenbelastung bewährt (Kaufmann 2003, LANUV NRW 2007b) und sind mit geringem Aufwand in Statistikprogrammen durchführbar.

Zur Verringerung des Aufwands kann ggf. auf eine statistische Prüfung der Gleichheit von Raumeinheiten verzichtet werden und die Zusammenfassung auf Basis der Auswertung der statistischen Kenngrößen und Boxplots für die einzelnen Raumeinheiten erfolgen. Die statistische Prüfung hat jedoch den Vorteil, dass die Ergebnisse reproduzierbar sind.

Teilung von Raumeinheiten

Insbesondere in großen Raumeinheiten (je nach Gebiet z. B. > 50 ha) oder bei kleinräumiger Heterogenität der Bodeneigenschaften können die Schadstoffgehalte eine hohe Variabilität bzw. Streuung zeigen. In diesem Fall sollte geprüft werden, ob die jeweilige Raumeinheit geteilt werden kann, um belastete von unbelasteten Bereichen zu trennen und zwei Raum-

26 Da Messdaten für Schadstoffgehalte in Böden häufig nicht normal verteilt sind, werden verteilungsfreie Verfahren empfohlen. Perzentilwerte sind bei Nicht-Normalverteilung besser zur Beschreibung der Werteverteilung geeignet als z. B. der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung.

einheiten mit geringerer Streuung zu erhalten. Die Streuung in den Raumeinheiten sollte so weit wie möglich minimiert werden.

Dazu werden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Identifizieren von Raumeinheiten mit hoher Variabilität

a) Auswertung von Boxplots unter Berücksichtigung von Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten

Es sollte geprüft werden, ob sich durch eine Teilung der Raumeinheit die bewertungsrelevanten statistischen Kenngrößen (90. Perzentil oder Maximum) überhaupt so verändern können, dass Beurteilungswerte unter- oder überschritten werden. Nur dann ist eine Teilung sinnvoll. Raumeinheiten, die im Vergleich zu anderen Raumeinheiten eine hohe Anzahl von Ausreißern und Extremwerten, eine hohe Spannweite und einen weiten Interquartilabstand aufweisen, werden als Raumeinheiten mit hoher Variabilität gekennzeichnet.

b) Auswertung von Streuungsmaßen

Mit geeigneten statistischen Kenngrößen für die einzelnen Raumeinheiten kann die relative Streuung quantifiziert und zwischen den Raumeinheiten verglichen werden. Es wird empfohlen, ein verteilungsfreies Streuungsmaß zu verwenden, wie z. B. die relative Abweichung vom Median mit halbem Dezilabstand (vgl. Info „Relative Streuungsmaße“, siehe nächste Seite).

Die in Abbildung 19 angegebenen Vergleichswerte dienen zur Einschätzung einer hinreichend homogenen Stichprobe bzw. einer vertretbaren Variabilität.

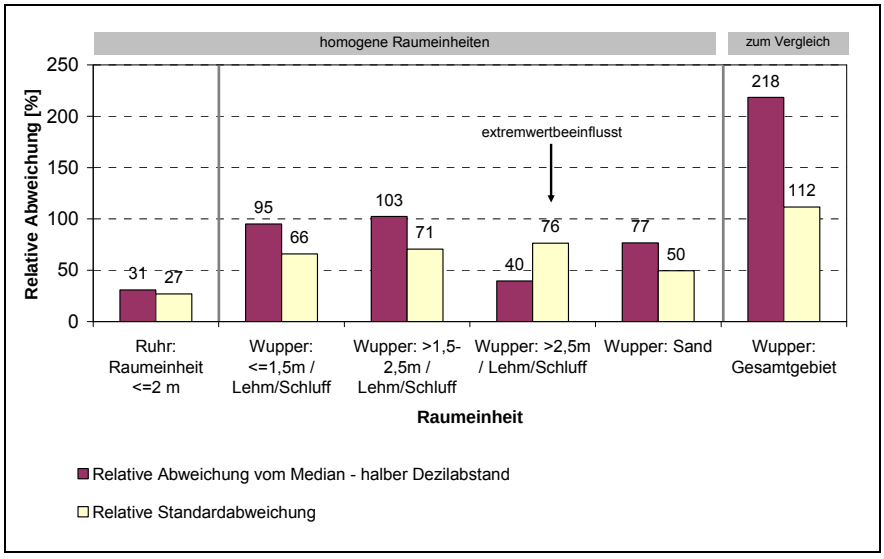


Abbildung 19: Vergleichswerte zur relativen Streuung für Bleigehalte in Raumeinheiten der Testgebiete Ruhr und Wupper (nicht normal verteilt) (zum Vergleich: inhomogene Werteverteilung vor der Bildung von Raumeinheiten)

Auf quantitative Mindestanforderungen an die Streuung wird verzichtet, da die Möglichkeiten zur Minimierung der Streuung aus praktischen Gründen begrenzt sind. So können Raumeinheiten nur so weit aufgeteilt werden, wie sie auch noch durch zusätzliche Bodenproben untersucht werden können.

RELATIVE STREUUNGSMAßE

Um die Variabilität unabhängig vom jeweiligen Wertebereich des untersuchten Stoffes zu beurteilen, bieten sich relative Streuungsmaße an. Diese werden ermittelt, indem ein absolutes Streuungsmaß in Relation zu einem Mittelwert angegeben wird.

Im Fall einer eingipfligen symmetrischen Häufigkeitsverteilung, die exakt der Normalverteilung entspricht, liegen 80 % der Werte im Bereich $\bar{a}$ +/- 1,28 s , so dass der Dezilabstand (90. Perzentil – 10. Perzentil) rund dem Einviertelfachen des doppelten Standardabweichungsbereichs entspricht. Der halbe Dezilabstand ist folglich unter diesen Voraussetzungen nur 7 % größer als die Standardabweichung. Dies erklärt, warum der halbe Dezilabstand recht häufig verwendet wird, wenn keine Voraussetzung hinsichtlich der Verteilungscharakteristika fegtgelegt werden soll (verteilungsfreies Verfahren). Dabei kann es sinnvoll sein, den Median anstelle des arithmetischen Mittelwertes zu verwenden. Dann liegt der halbe Dezilabstand verteilungssymmetrisch um den Median (Schönwiese 1985).

Tabelle 5: Streuungsmaße zur Beurteilung der Variabilität von Schadstoffgehalten in Raumeinheiten

Streuungsmaß	Bemerkungen zur Eignung
Relative Abweichung vom Median – halber Dezilabstand [%] $d = \frac{(P90 - P10) * 0{,}5}{\bar{x}} * 100\%$ $P90 - P10$ = Dezilabstand; $\bar{x}$ = Median	• verteilungsfreies Verfahren • gering beeinflusst von einzelnen Ausreißern und Extremwerten • erfasst einen ähnlichen Wertebereich wie die Standardabweichung
Relative Standardabweichung [%] $v = \frac{s}{\bar{a}} * 100\%$ s = Standardabweichung; $\bar{a}$ = arithmetischer Mittelwert	• nur bei Normalverteilung geeignet • stark beeinflusst von einzelnen Ausreißern und Extremwerten

2. Ermittlung der Ursache hoher Variabilität und Teilen von Raumeinheiten

Es wird geprüft, aus welchem Grund die Messwerte der im ersten Schritt identifizierten Raumeinheiten eine vergleichsweise hohe Variabilität aufweisen. Eine Sichtung der im Feld und im Labor ermittelten Begleitparameter (z. B. Mikrorelief, Grobbodenanteil) und eine GIS-gestützte Visualisierung der Messwerte können hier Hinweise auf die Ursachen für Ausreißer und Extremwerte und eine hohe Variabilität liefern.

Kann die Ursache ermittelt werden, wird die Raumeinheit aufgeteilt. Die inneren Grenzen können sich z. B. an der Geländeform orientieren, d. h. eine weitere Isolinie der relativen

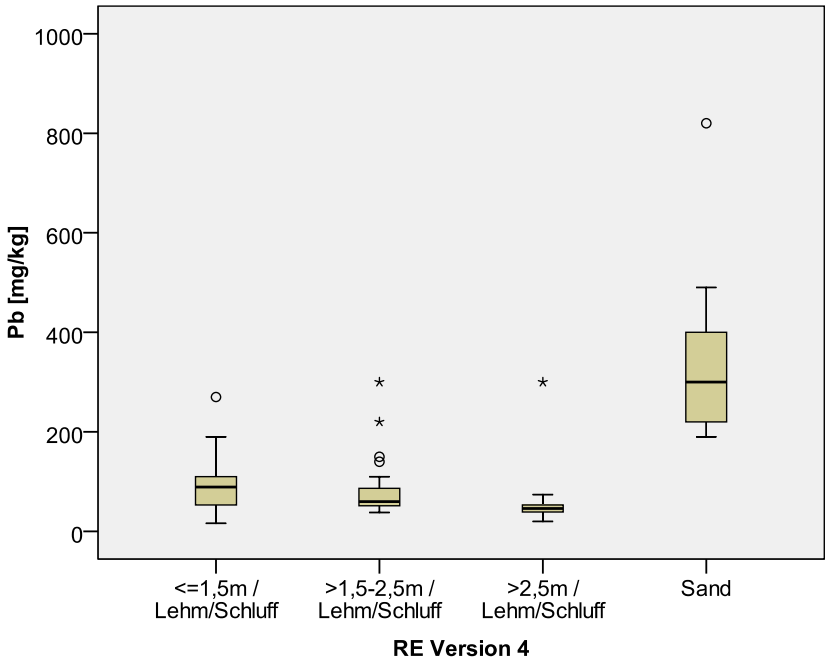
Höhe über dem Gewässer wird zur Teilung genutzt. Ein anderes Beispiel ist eine Teilung nach Bodeneigenschaften, die aus großmaßstäbigen Bodenkarten ermittelt werden können (z. B. Raseneisensteinvorkommen). Hierbei ist darauf zu achten, dass nicht zu kleine Flächen gebildet werden, die im Vollzug nicht handhabbar sind.

Die Probenahmestellen werden anschließend den neuen „Teilraumeinheiten“ zugeordnet. Sollten für die Teilraumeinheiten weniger als zehn Proben vorliegen, sind ergänzende Proben innerhalb der neuen Raumeinheiten zu entnehmen und zu analysieren.

3. Erstellung der endgültigen Karte der Raumeinheiten

Für neu gebildete Raumeinheiten sind die oben genannten Schritte 1 und 2 zu wiederholen (siehe z. B. Abbildung 20). Nach Abschluss dieses iterativen Prozesses wird schließlich eine endgültige Karte der Raumeinheiten erstellt, die die zusammengefassten und/oder geteilten Einheiten darstellt (siehe Abbildung 21).

Es wird empfohlen, Raumeinheiten mit hoher Variabilität der Schadstoffgehalte, die aus praktischen Gründen nicht aufgeteilt werden können, in der in Kapitel 8 beschriebenen Bewertungskarte mit einem nachrichtlichen Hinweis zu versehen.



Raumeinheit	< = 1,5 m/ Lehm/Schluff	>1,5 – 2,5 m/ Lehm/Schluff	> 2,5 m/ Lehm/Schluff	0 – 2,5 m Sand
Probenzahl ohne Extremwerte	17	25	41	14
Anzahl Extremwerte	0	2	1	0
10. Perzentil [mg/kg]*	37	41	35	195
50. Perzentil [mg/kg]*	89	60	46	300
90. Perzentil [mg/kg]*	206	122	69	655
Relative Streuung [%]**	95	103	40	77
Bewertungsklasse***	3	2	1	4
Überschreitungshäufigkeit von Vorsorgewert oder Prüf- bzw. Maßnahmenwert [%]***	53	28	97,6	100

* extremwertbereinigt

** Abweichung vom Median um den halben Dezilabstand

*** Erläuterung in Kapitel 8.2; Überschreitungshäufigkeit bezogen auf die Bewertungsklasse

Abbildung 20: Bleigehalte im Oberboden der Raumeinheiten des Testgebietes Wupper – Statistische Kenngrößen und Boxplots

Dass die grobkörnigen Böden im Testgebiet Wupper deutlich höhere Schwermetallgehalte aufweisen als die lehmig-schluffigen Böden (vgl. Beispiel Blei in Abbildung 20), entspricht zunächst nicht den Erwartungen an die substratabhängige Sorption. Auf Grund der bevorzugten Bindung von Schadstoffen an feinkörnige Substrate liegen im Regelfall Belastungen in Böden mit höheren Ton- und Feinschluffgehalten vor. Diese Ergebnisse bedürfen somit einer gesonderten Erklärung.

Grund für die vergleichsweise hohen Schwermetallgehalte der Sandböden können in diesem Fall hohe organische Gehalte sein bzw. – damit kombiniert – die Tatsache, dass wupperaufwärts Schleifereien betrieben wurden und belastete Schleifsande im untersuchten Gebiet zur Ablagerung kamen. Weiterhin liegen die betroffenen Böden in Gewässernähe, und die Wupper weist in diesem Abschnitt eine hohe Fließgeschwindigkeit auf. So könnte es zu einer Ausspülung von vormals enthaltenen Feinpartikeln gekommen sein, und vom typischerweise höher belasteten Auensediment ist – im Vergleich zu Böden aus verwittertem anstehenden Gestein – ausschließlich der Sand abgelagert worden oder vor Ort verblieben.

Die Ergebnisse im Testgebiet verdeutlichen, dass in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen besondere Konzentrationsmuster vorherrschen können, die jeweils im Einzelfall geprüft und interpretiert werden müssen.

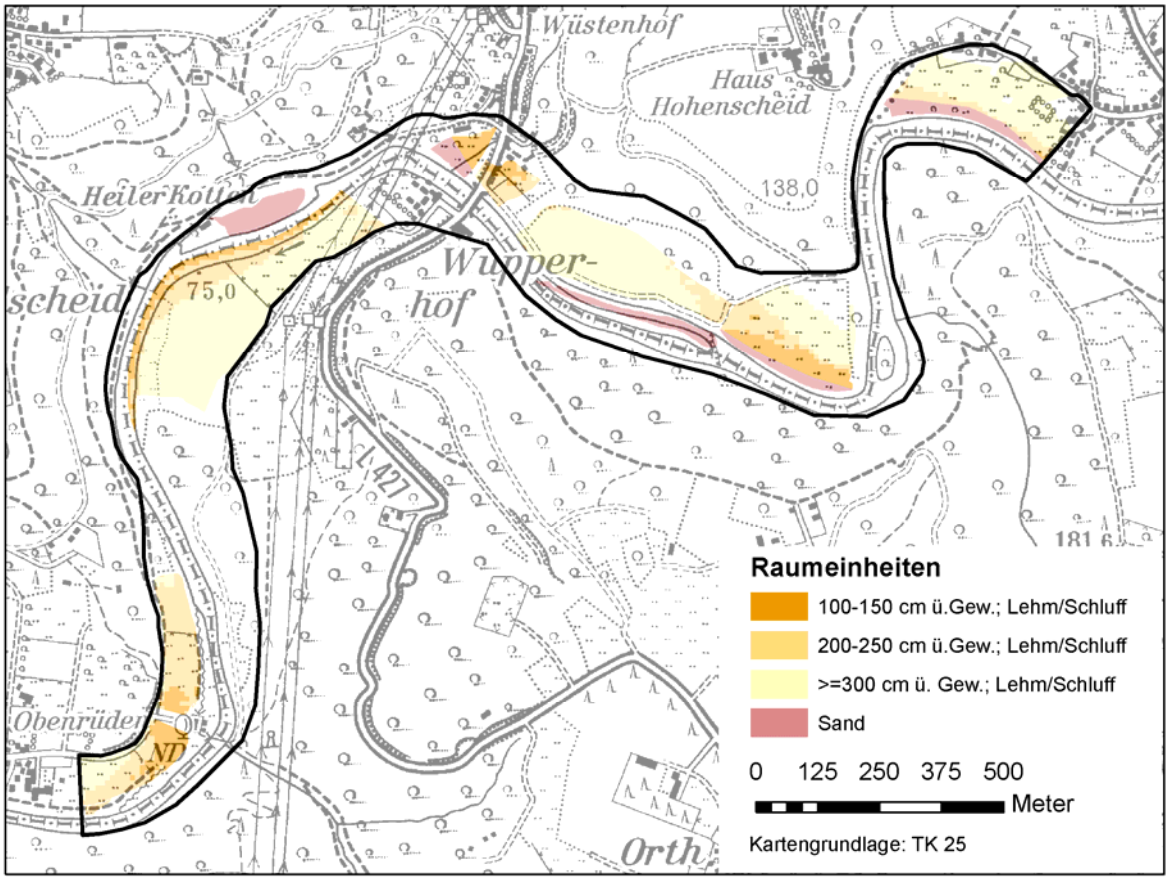


Abbildung 21: Angepasste Karte der Raumeinheiten im Testgebiet Wupper

7.3 Vertiefende statistische Auswertungen zu Einflussfaktoren

- Über die beschriebenen Arbeitsschritte hinaus können vertiefende statistische Auswertungen dazu dienen, die Ursachen für Schadstoffbelastungen näher zu untersuchen. Dabei kann der Gesamtdatensatz in unterschiedliche Teilstichproben aufgeteilt werden. Es bieten sich z. B. Methoden der deskriptiven Statistik und Verteilungsanalysen zur Auswertung von Stoffgehalten im Boden in Abhängigkeit von kategorialen Einflussfaktoren an:

- Bodenartenhauptgruppe, ggf. Bodenart,

- aktuelle Landnutzung,

- Geländeform (Senke, Mulde, Hang),

- Flussabschnitte.

Weiterhin können die Abhängigkeiten der Stoffgehalte im Boden von stetigen Einflussfaktoren mittels Streudiagrammen, Korrelations- und Regressionsanalysen untersucht werden:

- relative Geländehöhe über dem Gewässer;

- Kohlenstoffgehalt, organische Substanz;

- pH-Wert;

- Tongehalt

- Grobbodenanteil.

Darüber hinaus können multiple Regressionsanalysen mit mehreren Einflussfaktoren oder eine Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Gehalten einzelner Schadstoffe aufschlussreich sein.

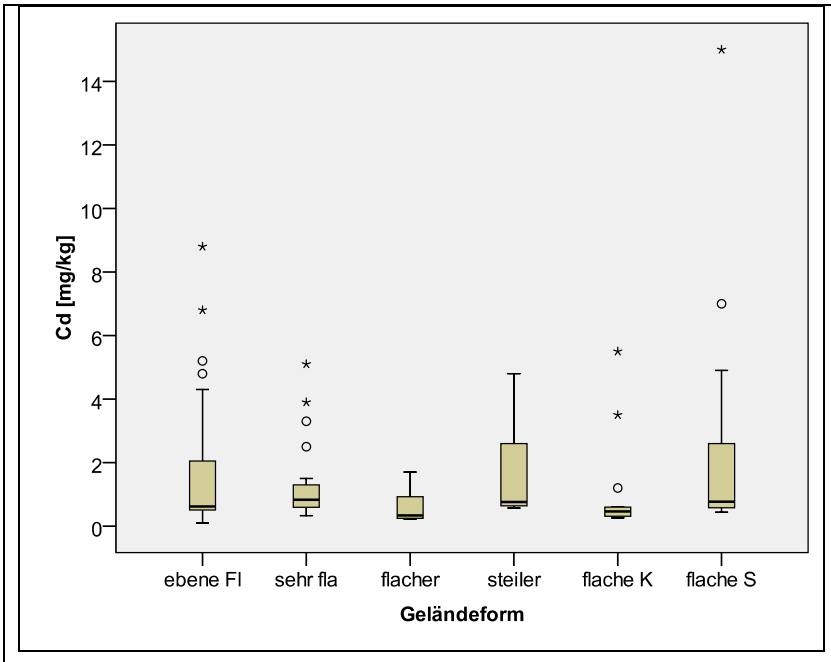
Korrelationsanalysen haben die Messung der Intensität des Zusammenhangs zwischen zwei oder mehreren Datenreihen zum Gegenstand. Dagegen geht es bei der Regressionsanalyse um die Untersuchung der stochastischen Abhängigkeiten zwischen Variablen und die Möglichkeiten ihrer funktionalen Beschreibung durch statistische Analyse der funktionalen Abhängigkeit einer Zielvariablen und einer oder mehrerer erklärender Variablen.

Entsprechende Auswertungen können bei Bedarf durchgeführt werden und nützliche Hinweise zur Interpretation der Bewertungskarte liefern. Z.B. können im jeweiligen Untersuchungsgebiet Zusammenhänge zwischen den Gehalten einzelner Stoffe untersucht werden, um zu ermitteln, zu welchem Anteil und mit welcher Funktion der Gehalt eines Metalls durch den Gehalt eines anderen Metalls erklärt wird. Finden sich enge Zusammenhänge, ist es im betrachteten Gebiet ggf. möglich, ein Metall als Leitparameter für die Auswertung zu nutzen und dadurch den Aufwand für Auswertung und Interpretation zu reduzieren. Auf der anderen Seite ist es bei der aggregierten Bewertungskarte hilfreich zu wissen, ob einzelne Stoffe sich deutlich von der Verteilung der anderen Stoffe abheben.

Eine Clusteranalyse kann zur Prüfung einer geeigneten Einteilung der Messwerte in Teildatenkollektive durchgeführt werden (vgl. LANUV NRW 2007b, Anhang A3.7). Im Ergebnis zeigt sich, inwieweit sich die Einflussfaktoren der Karte der Raumeinheiten in den gemessenen Werten widerspiegeln. Indem die räumliche Lage der Probenahmestellen innerhalb einzelner Cluster untersucht wird, können Anhaltspunkte für Ursachen gewonnen werden.

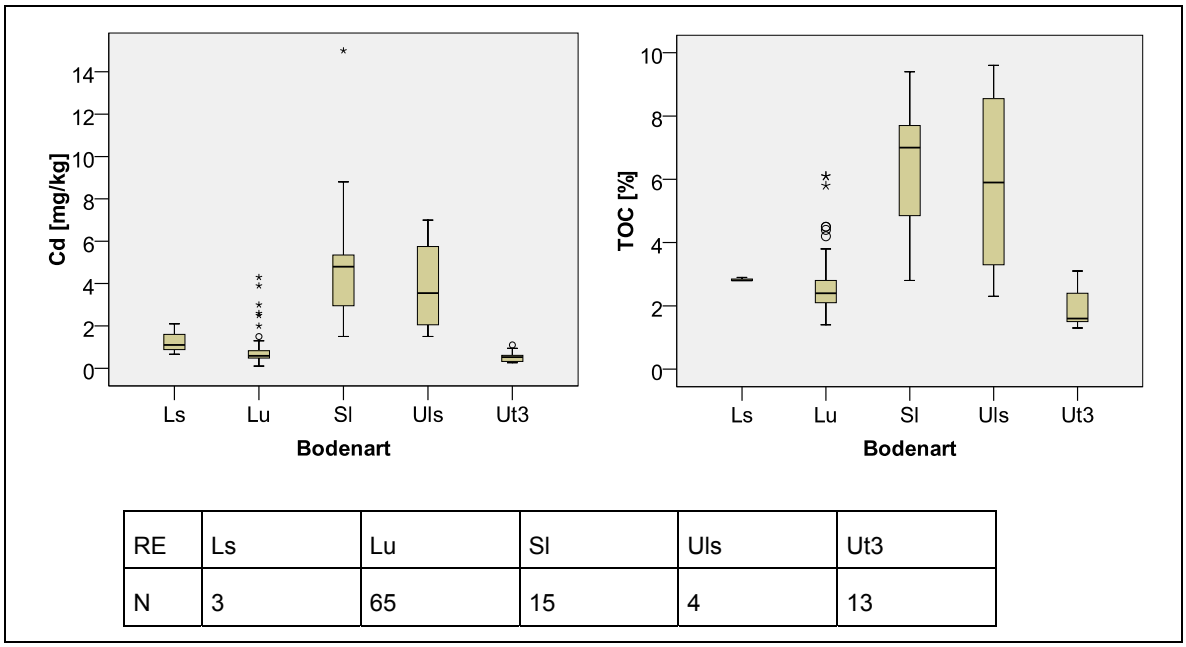
Im Rahmen der statistischen Auswertungen für die beiden Testgebiete an Wupper und Ruhr wurde z. B. festgestellt, dass die Geländeform (z. B. Lage in einer Senke gegenüber Lage am Hang) als Einzelfaktor keinen oder nur geringen Einfluss auf die Schwermetallgehalte im Oberboden zeigt (vgl. Abbildung 22). Hingegen fand sich in einem der beiden Testgebiete ein deutlicher Zusammenhang zwischen Bodenart und Kohlenstoffgehalt sowie zwischen Bodenart und stofflicher Belastung im Oberboden (vgl. Abbildung 23).

In diesem Testgebiet wiesen auch die Gehalte einzelner Schwermetalle in einzelnen Fällen einen engen Zusammenhang auf (vgl. Abbildung 24). Hierbei ist zu beachten, dass diese Zusammenhänge nicht auf andere Gebiete übertragbar sind, sondern vielmehr im jeweiligen Gebiet untersucht werden können, um die Interpretation von Ergebnissen zu erleichtern (s.o.).



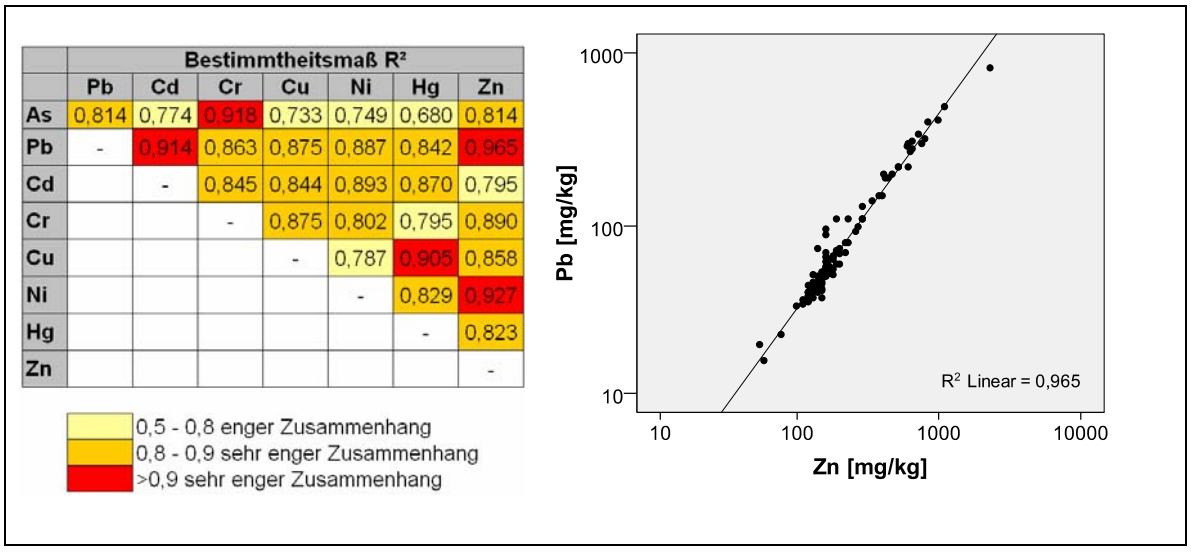
RE	ebene Fläche	sehr flacher Hang	flacher Hang	steiler Hang	flache Kuppe	flache Senke
N	27	24	8	7	16	18

Abbildung 22: Cadmiumgehalte im Oberboden in Abhängigkeit von der Geländeform im Testgebiet Wupper



RE	Ls	Lu	Sl	Uls	Ut3
N	3	65	15	4	13

Abbildung 23: Cadmium- und TOC-Gehalte im Oberboden in Abhängigkeit von der Bodenart im Testgebiet Wupper



	Bestimmtheitsmaß R²						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
As	0,814	0,774	0,918	0,733	0,749	0,680	0,814
Pb	-	0,914	0,863	0,875	0,887	0,842	0,965
Cd		-	0,845	0,844	0,893	0,870	0,795
Cr			-	0,875	0,802	0,795	0,890
Cu				-	0,787	0,905	0,858
Ni					-	0,829	0,927
Hg						-	0,823
Zn							-

0,5 - 0,8 enger Zusammenhang
0,8 - 0,9 sehr enger Zusammenhang
>0,9 sehr enger Zusammenhang

Abbildung 24: Regression zur Abhängigkeit zwischen Gehalten von Schwermetallen im Oberboden im Testgebiet Wupper

7.4 Ableiten von statistischen Kenngrößen für Schadstoffgehalte in Raumeinheiten

In diesem Arbeitsschritt werden statistische Kenngrößen für die endgültigen Raumeinheiten ermittelt, die als Eingangsdaten für die Bewertungskarte erforderlich sind (vgl. Kapitel 8). Zuvor sind Extremwerte jeweils stoffspezifisch aus den Datenkollektiven der Raumeinheiten auszuschließen. Als Grenze für Extremwerte wird gemäß LABO (2003) das 75. Perzentil + 3-facher Interquartilabstand empfohlen (vgl. Info „Extremwertgrenzen“). Die Extremwertuntersuchung erfolgt iterativ, bis keine Extremwerte mehr enthalten sind.

Für die extremwertbereinigten Datenkollektive der Raumeinheiten werden schließlich folgende Größen ermittelt (vgl. Abb. 20):

$N_{verrechnet}$	Anzahl der zur Berechnung der statistischen Kenngrößen verwendeten Proben (extremwertbereinigt)
$N_{Extremwerte}$	Anzahl ausgeschlossener Extremwerte
P10	10. Perzentil („Untergrenze“)
P50	50. Perzentil / Median
P90	90. Perzentil („Obergrenze“)
Min	geringster Wert (ohne Extremwerte)
Max	höchster Wert (ohne Extremwerte)
d oder s	relative Streuung je nach Verteilung: - relative Abweichung vom Median mit halbem Dezilabstand (*d*) oder - relative Standardabweichung (*s*)
h	Überschreitungshäufigkeit vom Vorsorgewert oder von Prüf- und Maßnahmenwerten (je nach Bewertungsklasse) [%] (vgl. Kap. 8.2)

EXTREMWERTGRENZEN

Die **Extremwertuntersuchungen** mit der Grenze 75. Perzentil + 3-facher Interquartilabstand (nach LABO 2003) erfüllen im Allgemeinen den Zweck, weit aus dem typischen Wertebereich einer Verteilung herausfallende Werte aufzufinden (ca. 2 bis 10 % der Messwerte). Damit sind die Perzentilwerte einer von Extremwerten bereinigten Stichprobe repräsentativer als jene der Stichprobe, aus der Ausreißer anhand der Grenze 75. Perzentil + 1,5-facher Interquartilabstand bereinigt wurden.

Sollen noch weniger Werte aus Datenkollektiven ausgeschlossen werden (ca. < 1 %), kann alternativ die Grenze 50. Perzentil + 5-facher Interquartilabstand gemäß UBA (2003) verwendet werden (siehe auch LANUV NRW 2007b).

Zu beachten: Bei **Ausreißeruntersuchungen** mit der Grenze 75. Perzentil + 1,5 Interquartilabstand werden generell zu viele Messwerte (ca. 5 bis 20 %) aus der Auswertung ausgeschlossen (Kaufmann 2003). Dies ist insbesondere für kleine Stichproben n < 20 problematisch und wird deshalb nicht empfohlen.

8 Erstellen der Bewertungskarte anhand von Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten

Zur Erfassung und Bewertung der Schadstoffbelastung von Böden in Auenbereichen durch die Unteren Bodenschutzbehörden kann eine Bewertungskarte nach dem im Folgenden beschriebenen (Ampel-)Modell erstellt werden. Die Bewertungskarte erlaubt flächendeckende Aussagen zur Schadstoffbelastung und zum weiteren Handlungsbedarf.

Die Bewertungskarte orientiert sich an definierten Ober- und Untergrenzen von im Untersuchungsgebiet gemessenen Schadstoffgehalten. Durch die Bewertung der Ober- und Untergrenzen kann der Handlungsbedarf für den Bodenschutz-Vollzug abgeleitet werden.

Die Erstellung der „Bewertungskarte“ erfolgt in drei Schritten:

1. Im ersten Schritt werden den Raumeinheiten (vgl. Kap. 7.2) statistische Kenngrößen zugewiesen, auf deren Grundlage die einzelnen Teilgebiete des Untersuchungsraums bewertet werden können.

2. Der zweite Schritt umfasst die Anwendung der Kriterien des Bewertungssystems (vgl. Tabelle 6) für die Bewertungskarte auf die statistischen Kenngrößen für jede Raumeinheit. Anhand des Über- oder Unterschreitens von Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV durch die zugewiesenen Werte kann der Handlungsbedarf für die Unteren Bodenschutzbehörden abgeleitet werden.

3. Im dritten Schritt werden die Ergebnisse der Bewertung in die Fläche übertragen.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Erstellung der Bewertungskarte näher beschrieben.

Hinweise zum Handlungsbedarf, der sich aus der Wertezuweisung ergibt, werden in Kapitel 9 gegeben.

8.1 Zuweisung statistischer Kenngrößen und Definition von Ober- und Untergrenzen

Aufbauend auf den bisher durchgeführten Arbeitsschritten werden den Raumeinheiten statistische Kenngrößen zugewiesen. Diese dienen zur Bewertung der stofflichen Bodenbelastung in einzelnen Teilflächen im Untersuchungsgebiet.

Für die Erstellung der Bewertungskarte werden für jede Raumeinheit die folgenden Informationen zur Bewertung benötigt (vgl. Kap. 7.4):

Perzentilwerte (extremwertbereinigt):

- 10. Perzentil → **Untergrenze**
- 50. Perzentil (Median) → Mittlerer Gehalt
- 90. Perzentil → **Obergrenze**

Die genannten Perzentilwerte sind gängige statistische Kenngrößen und eignen sich gut für eine Zuweisung von charakteristischen Ober- und Untergrenzen für Stoffgehalte in Raumeinheiten. Sie repräsentieren – unabhängig vom Typ der Verteilung[27] – 80 % der gemessenen Werte.

Für die Zuweisung von Ober- und Untergrenzen zu Raumeinheiten gibt es aber auch weitere Möglichkeiten. So ist z. B. im Sinne eines Worst-Case-Ansatzes die Anwendung von extremwertbereinigten Maximal- und Minimalwerten möglich. Hiermit werden 100 % der gemessenen Werte (ohne Extremwerte) repräsentiert. In Raumeinheiten mit starker Streuung werden diese Ober- und Untergrenzen jedoch stark von Einzelwerten beeinflusst.

Minimale und maximale Werte (extremwertbereinigt):

- geringster gemessener Wert → **Untergrenze**
- 50. Perzentil (Median) → Mittlerer Gehalt
- höchster gemessener Wert → **Obergrenze**

Für die Bewertungskarte wurde zur Definition der Ober- und Untergrenzen für die Stoffkonzentrationen der einzelnen Raumeinheiten das 90. bzw. 10. Perzentil festgelegt. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass mit 80 % ein Großteil der gemessenen Werte durch die beschriebene Spanne berücksichtigt wird und die Größen nur in geringem Maß von Einzelwerten beeinflusst sind[28].

Bei Verwendung der Perzentilwerte ist zu berücksichtigen, dass nach Ausschluss der Extremwerte 20 % der Daten nicht in der Auswertung und in der Kartendarstellung berücksichtigt werden. Das kann vor Allem bei Klassen mit sehr geringer Probenanzahl problematisch sein. In solchen Fällen bietet sich die Variante an, in der die minimalen und maximalen Werte als Unter- und Obergrenzen verwendet werden.

Die Angabe des Medians oder eines anderen Perzentilwertes kann für weitergehende Anwendungen, wie z.B. die Ermittlung von „Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten“ oder der Ableitung gebietsbezogener Beurteilungswerte bedeutsam sein (vgl. Kapitel 9).

---

[27] Bodendaten weisen häufig keine Normalverteilung auf.

[28] Ein Ausschluss von zu vielen Messwerten kann bei der Bewertung zur flächenhaften Unter- und Überschätzung der tatsächlichen Schadstoffgehalte führen, weshalb eine Verwendung der 75. und 25. Perzentilwerte nicht zu empfehlen ist.

8.2 Einordnung der statistischen Kenngrößen in das Konzept der Bewertungskarte

In diesem zweiten Schritt werden die den Raumeinheiten zugewiesenen statistischen Kenngrößen mit den Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV verglichen. Bei der Bewertung der statistischen Kenngrößen als Ober- und Untergrenze werden die folgenden Bewertungsmaßstäbe herangezogen:

a) Vorsorgewerte:

Bei der Erstellung der Raumeinheiten wird die Bodenartenhauptgruppe berücksichtigt. Auf diese Weise kann in der Bewertungskarte der jeweilige bodenartenabhängige Vorsorgewert nach BBodSchV herangezogen werden.

b) Prüf- und Maßnahmenwerte:

Für die Testgebiete ergab die Prüfung des Einflusses der Nutzung auf die Schadstoffgehalte (siehe Kap. 5.2.5 Arbeitskarte „Aktuelle Landnutzung“) auf Grund der häufigen Nutzungswechsel keine eindeutigen Ergebnisse. Daher werden die Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV nicht auf die aktuell vorliegende Nutzung (Acker oder Grünland) bezogen. Für die Bewertung wird dann jeweils der sensibelste nutzungsbezogene Prüf- und Maßnahmenwert für Acker- und Gründlandflächen der BBodSchV zugeordnet. Eine solche Einordnung ist im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung insbesondere für planungsrechtliche Fragen erforderlich (LUA NRW 2000a) und wird sowohl den stattfindenden Nutzungswechseln als auch dem Fehlen von Prüf- und Maßnahmenwerten im Königswasseraufschluss für die ackerbauliche Nutzung für verschiedene Parameter gerecht.

Die Raumeinheiten werden zunächst für jeden Parameter in Bewertungsklassen mit unterschiedlichem Handlungsbedarf unterteilt. Für die Bewertungskarte werden fünf Klassen ausgewiesen (vgl. Tabelle 6). Aus den stoffspezifischen Einzelkarten wird anschließend eine aggregierte Gesamtkarte erstellt.

Die im Folgenden vorgestellte Bewertung nach dem Konzept einer erweiterten Ampelkarte orientiert sich an der verbreiteten, eingängigen Farbskala von Grün nach Rot. Die Farbgebung ist jedoch flexibel handhabbar (z.B. um die Barrierefreiheit hinsichtlich einer Rot-Grün-Schwäche sicherzustellen).

Tabelle 6: Klassen der Bewertungskarte

Bewertungsklasse	Farbe	Kriterien und Bedeutung
5	Rot	Untergrenze (10. Perzentil oder Minimalwert) der Raumeinheit überschreitet den nutzungsbezogenen Prüf- bzw. Maßnahmenwert der BBodSchV: → Fast alle Analysenergebnisse in der bewerteten Raumeinheit liegen über dem Prüf- oder Maßnahmenwert, und es bestehen konkrete Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung.
4	Orange	Obergrenze (90. Perzentil oder Maximalwert) der Raumeinheit überschreitet den nutzungsbezogenen Prüf- bzw. Maßnahmenwert der BBodSchV: → Mindestens an einem Punkt liegen konkrete Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung vor. ODER Untergrenze (10. Perzentil oder Minimalwert) der Raumeinheit liegt über dem Vorsorgewert der BBodSchV: → Fast alle Analysenergebnisse in der bewerteten Raumeinheit überschreiten den Vorsorgewert für die jeweilige Bodenart in der Raumeinheit.
3	Gelb	Median der Raumeinheit liegt über dem Vorsorgewert der BBodSchV: UND Obergrenze (90. Perzentil oder Maximalwert) der Raumeinheit unterschreitet den nutzungsbezogenen Prüf- bzw. Maßnahmenwert der BBodSchV: → Ggf. kann ein Gebiet mit erhöhten Schadstoffgehalten ausgewiesen werden.
2	Grün	Median der Raumeinheit liegt unter dem Vorsorgewerte der BBodSchV, die Obergrenze (90. Perzentil oder Maximalwert) überschreitet jedoch den Vorsorgewert UND Obergrenze (90. Perzentil oder Maximalwert) der Raumeinheit unterschreitet den nutzungsbezogenen Prüf- bzw. Maßnahmenwert der BBodSchV. → In Teilbereichen der Raumeinheit liegen Vorsorgewertüberschreitungen vor (im Unterschied zu vollständig unbelasteten Flächen der Stufe 5)
1	Dunkelgrün	Obergrenze (90. Perzentil oder Maximalwert) der Raumeinheit unterschreitet den Vorsorgewert der BBodSchV: → Die Raumeinheit kann als unbelastet bewertet werden.

Die in Tabelle 6 dargestellten Bewertungsklassen können im Einzelfall durch die Vollzugsbehörden angepasst werden. Möglich sind beispielsweise:

- Die **Zusammenfassung von Bewertungsklassen**, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, wie z. B. eine Aggregation von Klasse 1 und 2 zu einer Klasse „Grün“. Nicht ausgewiesen werden bei dieser Zusammenfassung Flächen, bei denen der größte Teil der Analysenergebnisse die Vorsorgewerte der BBodSchV unterschreitet. Die Klasse kennzeichnet dann Flächen, in denen die Vorsorgewerte nur in Teilbereichen überschritten werden (< 50 % der bewerteten Analysenergebnisse).

- Die **Berücksichtigung weiterer Klassen** im Hinblick auf gesonderte Fragestellungen, wie die Berücksichtigung angepasster Prüfwerte (Arsen bei Böden mit zeitweise reduzierenden Verhältnissen) und Maßnahmenwerte (auf Flächen mit Brotweizenanbau oder Anbau stark cadmiumanreichernder Gemüsearten).

- Neben der Auswertung unter Berücksichtigung der Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte nach BBodSchV können die Ergebnisse der Zuweisung auch auf **andere relevante Grenzwerte** von Verordnungen oder Bezugssystemen übertragen werden (z. B. Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden (LUA NRW 2006a)).

Um die Aussagesicherheit der Klassenzuweisung beurteilen zu können, empfiehlt es sich, weitere statistische Kenngrößen für jede Raumeinheit, z. B. am Rand der Bewertungskarte oder in einem Begleitdokument, bereitzustellen (siehe z. B. Abb. 20 und Kap. 7.4):

- Anzahl der zur Berechnung der statistischen Kenngrößen verwendeten Proben ($N_{verrechnet}$)

- Anzahl von ausgeschlossenen Extremwerten ($N_{Extremwerte}$; liefert Hinweise auf das Belastungsmuster innerhalb von Raumeinheiten)

- Relative Streuung (d oder s; spiegelt – unabhängig vom stoffspezifischen Wertebereich – die Variabilität der in der Raumeinheit gemessenen Gehalte wider; zur Eignung verschiedener Streuungsmaße vgl. Kapitel 7.2).

Werden im Untersuchungsgebiet mehrere Raumeinheiten in die gleiche Bewertungsklasse eingestuft, stellt sich ggf. die Frage, welche der einzelnen Raumeinheiten höhere Flächenanteile mit Schadstoffbelastungen zeigen als andere. Um diese Frage zu beantworten, kann berechnet werden, wie viele Messwerte der einzelnen Raumeinheiten jeweils den Vorsorge-, Prüf- oder Maßnahmenwert überschreiten. Die Angabe der prozentualen Überschreitungshäufigkeit dient zur konkreteren Einschätzung des Handlungsbedarfs und zur Differenzierung von Flächen mit gleicher Bewertungsklasse.

Dies kann an zwei Beispielen für Raumeinheiten der Bewertungsklasse 4 (vgl. Tabelle 6) gezeigt werden:

- Bei einer Probenzahl (extremwertbereinigt) von 18 in einer homogenen Raumeinheit erfüllen drei Messwerte das Kriterium „Prüf- bzw. Maßnahmenwert überschritten“. Dies entspricht einer prozentualen Häufigkeit von 16,7 %.

- In einer zweiten Raumeinheit liegt eine Probenzahl (extremwertbereinigt) von 25 vor. Hier erfüllen 17 Messwerte das Kriterium „Prüf- bzw. Maßnahmenwert überschritten“. Dies entspricht einer prozentualen Häufigkeit von 68,0 %.

Innerhalb der Bewertungsklasse 4 zeigt sich, dass die zweite Raumeinheit eine höhere Überschreitungshäufigkeit aufweist und ihr somit ggf. bei der Umsetzung von Maßnahmen Priorität eingeräumt werden könnte.

8.3 Kartographische Darstellung der Ergebnisse

Um die in Kapitel 8.2 beschriebene Bewertung in die Fläche zu übertragen und kartographisch darzustellen, sind weitere Arbeitsschritte notwendig. In der Attributtabelle der Karte der endgültigen Raumeinheiten (nach Raster-Vektor-Konvertierung, vgl. Kapitel 7.2) wird für jeden untersuchten Stoff ein Feld hinzugefügt. In dieses Feld wird die jeweils zugewiesene Bewertungsklasse von 1 bis 5 eingetragen (vgl. Kapitel 8.2). Eine kartographische Darstellung mit einer fünfstufigen Farblegende und die Beurteilung des Handlungsbedarfs in den untersuchten Bereichen sind somit für jeden einzelnen Stoff möglich (vgl. beispielhaft Abbildung 25).

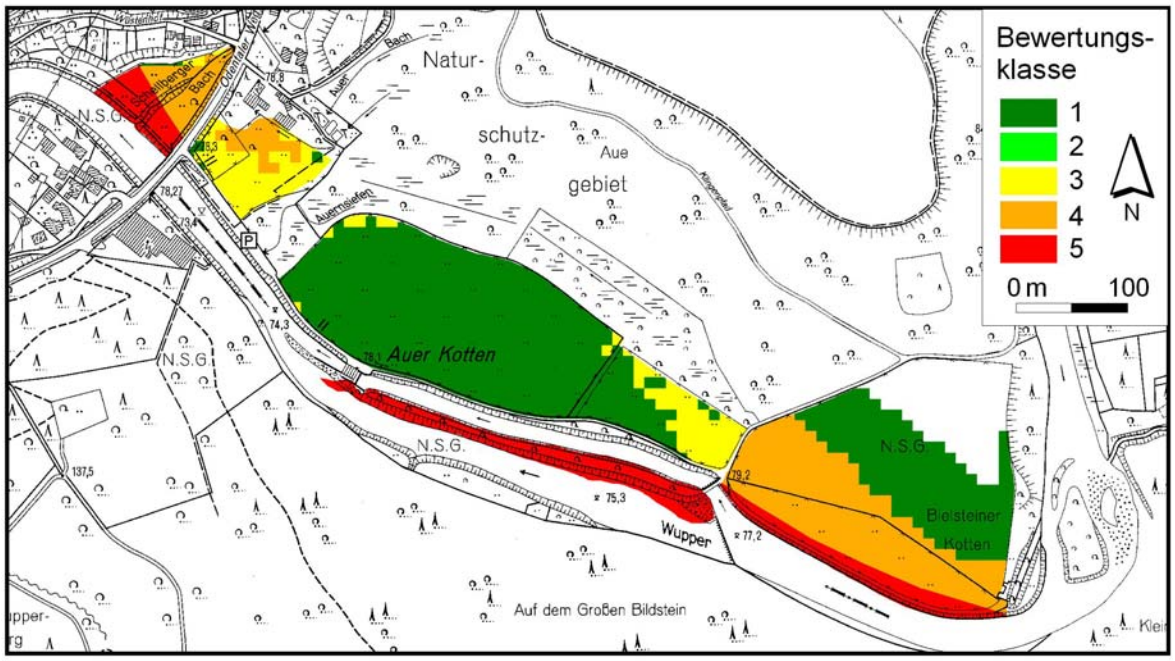


Abbildung 25: Bewertungskarte für Quecksilber am Beispiel Wupper

Anschließend erfolgt eine Gesamtbewertung des Untersuchungsraums, indem unter Berücksichtigung aller untersuchten Stoffe eine **aggregierte Bewertungskarte** erzeugt wird. Diese wird auf der Grundlage der stoffspezifischen Karten entwickelt. Hierbei wird die Anwendung des Worst-Case-Prinzips berücksichtigt, bei dem die Überschreitung von einem stoffspezifischen Prüf- oder Maßnahmenwert ausreicht, um einen Handlungsbedarf anzuzeigen. Eine nachrichtliche Darstellung der ausgeschlossenen Extremwerte ist zusätzlich möglich. Der Attributtabelle der Raumeinheiten wird dazu ein weiteres Feld hinzugefügt. Den Raumeinheiten wird hier der Zahlenwert der höchsten Bewertungsklasse einer Einzelstoffbewertung zugewiesen. Auf diese Weise entsteht eine Karte mit einheitlichen Bewertungsklassen, die alle untersuchten Stoffe umfasst. Diese Karte unterscheidet nicht nach einzelnen Stoffen, sondern lediglich nach der aus den Einzelkarten abgeleiteten Bewertungsklasse. Für die übergreifende flächenhafte Einschätzung des Handlungsbedarfs ist diese Karte jedoch die Entscheidende. Für die entsprechenden, oft stoffspezifisch anzupassenden Vorgehensweisen und Maßnahmen müssen die die Einzelkarten zu den jeweiligen Stoffen herangezogen werden.

Die Interpretation der Karten sollte immer im Zusammenhang mit den in Kapitel 8.2 zugewiesenen Informationen zur Anzahl zugrunde liegender Messwerte und zur Streuung erfolgen.

Sowohl hinsichtlich der äußeren Abgrenzung als auch im Hinblick auf die innere Differenzierung der Bewertungskarte ist bei der Festlegung der räumlichen Grenzen eine Anpassung an Grundstücksgrenzen anzustreben (MUNLV NRW 2004).

9 Ableitung des Handlungsbedarfs

Anhand der Bewertungskarte kann auf einfache Weise der weitere Handlungsbedarf in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen ermittelt werden. Durch die vorliegende Auswertung ist es möglich, den bewerteten Flächen den Handlungsbedarf für den Bodenschutz-Vollzug zuzuweisen. Hierfür stehen den Bodenschutzbehörden in Nordrhein-Westfalen insbesondere folgende Anleitungen und Leitfäden zur Verfügung, auf die nachfolgend verwiesen wird.

- Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze. Merkblatt Nr. 22 (LUA NRW 2000a[29]);

- Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden gemäß § 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Merkblatt Nr. 44 (LUA NRW 2004);

- Handlungsempfehlungen zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr bei schädlichen stofflichen Bodenveränderungen in der Landwirtschaft. Merkblatt Nr. 55 (LUA NRW 2006a)

- Anleitung zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden (GE-Anleitung). Merkblatt Nr. 57 (LUA NRW 2006b);

- Leitfaden zur Ausweisung von Bodenschutzgebieten (MUNLV NRW 2004).

Die Umsetzung des vorliegenden Konzepts ergibt für Flächen **der Bewertungsklasse „Rot“** eine Konkretisierung der Anhaltspunkte auf das Vorliegen schädlicher Bodenveränderungen nach § 2 Abs. 3 BBodSchG. Eine Überschreitungshäufigkeit von mehr als 90 % der untersuchten Probenahmestellen weist der Raumeinheit eine ausreichend hohe Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten zu, ohne dass für jede Einzelfläche Messwerte vorliegen müssen. Die Ergebnisse sind daher Grundlage für die Feststellung schädlicher Bodenveränderungen.

Anhaltspunkte auf schädliche Bodenveränderungen nach § 2 Abs. 3 BBodSchG liegen auch für die **Bewertungsklasse „Orange“** vor, wenn diese Flächen die Bewertung durch Stoffe erhalten haben, für die Prüf- oder Maßnahmenwerte definiert sind. Für andere Stoffe sind ggf. fallbezogene Werte abzuleiten. Darüber hinaus signalisiert diese Bewertungsklasse jedoch auch, dass für mindestens eine der untersuchten Flächen konkrete Hinweise auf schädliche Bodenveränderungen vorliegen.

[29] Dieses LUA-Merkblatt wird zurzeit umfassend aktualisiert.

Aus den Bewertungsklassen „Rot“ und „Orange“ ergibt sich daher – zumindest für Teilflächen – der Bedarf für **Maßnahmen zur Gefahrenabwehr**. Ob für die Umsetzung eine Ausweisung von Bodenschutzgebieten nach MUNLV (2004) oder einzelflächenbezogene Anordnungen in Betracht kommen, ist für das jeweilige Gebiet zu entscheiden. Darüber hinaus stehen für landwirtschaftlich genutzte Flächen mit erhöhten Schadstoffgehalten geeignete praktische Maßnahmen zur Gefahrenabwehr (z. B. Nutzungsänderungen/-einschränkungen, Anwendung schmutzarmer Ernteverfahren) zur Verfügung (LUA NRW 2006a).

Im Gegensatz dazu sind die Gebiete der **Bewertungsklasse „Gelb“** vorrangig unter Gesichtspunkten der **Vorsorge** zu betrachten. Diese Gebiete überschreiten mit mindestens der Hälfte der in die statistische Auswertung einbezogenen Werte die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), womit im Regelfall die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung ausgelöst wird (§ 8 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG). Dies gilt auch für die Flächen der Bewertungsklasse „Orange“, wenn diese Flächen die Bewertung durch Stoffe erhalten haben, für die keine Prüf- oder Maßnahmenwerte definiert sind (z. B. Chrom, Zink).

In diesen Gebieten besteht u. a. die Handlungsoption der Ermittlung, Abgrenzung und Festlegung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten nach § 12 Abs. 10 BBodSchV und der Festsetzung gebietsbezogener Beurteilungswerte. Den Vollzugsbehörden werden damit weitergehende Möglichkeiten für Regelungen und Entscheidungen zur Umlagerung von Bodenmaterial innerhalb dieser Gebiete geboten (LUA NRW 2004, LUA NRW 2006b, Anhang 1). Die Möglichkeit einer Abgrenzung von Gebieten mit großflächig siedlungs- bzw. naturbedingt erhöhten Schadstoffgehalten, insbesondere eine ggf. erforderliche grundstücksscharfe Konkretisierung der Außengrenzen muss im Einzelfall geprüft werden. Die abfall- und bodenschutzrechtlichen Anforderungen zum Umgang mit belastetem Bodenmaterial sind in Anhang 1 dargestellt.

Bei den Flächen, die den **Bewertungsklassen „Grün“ und „Dunkelgrün**“ zugeordnet wurden, bestehen keine Anhaltspunkte für schädliche Bodenveränderungen. Es besteht kein direkter Handlungsbedarf. Bei einer Ausweisung von Flächen mit großflächig siedlungs-/naturbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in angrenzenden Bereichen kann jedoch die zusätzliche Einbeziehung von Teilbereichen der Bewertungsklasse „Grün“ sinnvoll sein. 10 bis 50 % der Daten auch dieser Raumeinheit können für die Ausweisung der Gebiete relevant sein (vgl. Tabelle 6). Dagegen ist bei der Bewertungsklasse „Dunkelgrün“ davon auszugehen, dass diese Raumeinheiten im Hinblick auf Schadstoffbelastungen flächenhaft unbedenklich sind.

Die Untersuchung des Oberbodens ist insbesondere für die Wirkungspfade Boden – Pflanze und Boden – Mensch nach BBodSchV relevant. Aussagen zu Stoffgehalten in Oberböden können in Auenbereichen hinsichtlich ihrer Bewertungsrelevanz nicht ohne weitere Auswertungen auf die Unterböden übertragen werden (LUA NRW 2006b). Das im vorliegenden Leitfaden beschriebene Konzept kann jedoch bei zusätzlicher Beprobung und Analyse von Unterböden erweitert werden.

10 Ausblick

Mit dem vorliegenden Leitfaden liegt eine Untersuchungsmethode für die räumliche Differenzierung, Darstellung und Bewertung stofflicher Bodenbelastungen in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen vor. Mit vertretbarem Aufwand können – je nach Vorgehen im Detail – vollständige und belastbare Informationen für den Bodenschutz-Vollzug ermittelt werden.

Organische Schadstoffe weisen im Grundsatz identische fluviatile Eintragswege auf wie Schwermetalle und unterliegen ähnlichen Sedimentations- und Sorptionsbedingungen. Eine Übertragbarkeit der Methodik wird daher erwartet.

Zukünftig kann die Methodik flexibel und in Abhängigkeit von Erfahrungen aus anderen Gebieten weiterentwickelt oder auf Grund lokaler Gegebenheiten angepasst werden. Besonders interessant wäre eine Anwendung der Methodik im Überflutungsbereich eines typischen Tieflandgewässers (z. B. Ems, Bever) und eines großen Fließgewässers in Nordrhein-Westfalen (Rhein).

11 Literatur

Akin, H. (1992): Möglichkeiten und Grenzen der geostatistischen Verfahren in der Praxis. In: Anwendung geostatistischer Verfahren. Beiträge zur Mathematischen Geologie und Geoinformatik 3, S. 61-71.

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 16, 502-510.
http://igsvtu.lua.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50101.pdf

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 36, 1554-1582.
http://igsvtu.lua.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50102.pdf

Berief, K.J. (2005): Kokereispezifische Kontaminationen in Bachauen der Stadt Dortmund. Tagungsband der Fachtagung „Vollzug des Bodenschutzes“ am 11.02.2005 in Wuppertal. Hrsg.: MUNLV NRW. Düsseldorf; S. 128-129.
http://www.plan-zentrumumwelt.de/download/Kurzreferat_BeitragBerief.pdf

BMU / BfN – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit /Bundesamt für Naturschutz (2009): Auenzustandsbericht. Flussauen in Deutschland. Berlin.
http://www.bfn.de/0324_auenzustandsbericht.html

DIN 18919 (2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen. Ausgabe 08/2002. Beuth-Verlag.

Du Laing, G.; Rinklebe, J.; Vandecasteele, B.; Tack, F.M.G. (2009): Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review. Science of the Total Environment. 407. 3972-3985.

Franke, C.; Rinklebe, J. (2003): Heterogenität von Cd, Zn, Cu, Cr in Auenböden der Elbe in Abhängigkeit von Bodenform, Überflutungsdauer, organischem Kohlenstoff und Bodenreaktion. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 102. 2. 467-468.

Gaida, R. & U. Radtke (1993): Schwermetalle in den Auensedimenten der Düssel und ihrer Nebenbäche. Düsseldorfer Geographische Schriften 31, S. 5-10.

Ingenieurbüro Feldwisch (2008): Endbericht Modellvorhaben zur Harmonisierung der Bodenfunktionsbewertung auf Grundlage großmaßstäbiger Bodenkarten. Im Auftrag des Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Essen.
http://www.lanuv.nrw.de/boden/boschu-lua/grossbodenkarten.htm

Kaufmann, C. (2003): Möglichkeiten der GIS-gestützten Abgrenzung von Gebieten für Schwermetalle in Oberböden am Beispiel der Stadt Wuppertal. Diplomarbeit.

Krw-/AbfG (1994):Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994
http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/doc.app?DATEI=4/dokus/40112.pdf

LBodSchG (2000): Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes in Nordrhein-Westfalen vom 30. Mai 2000. Landesbodenschutzgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LBodSchG). Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 29, S. 439-444.
http://igsvtu.lua.nrw.de/vtu/oberfl/de/dokus/5/dokus/50201.pdf

LANUV NRW (2007a): Ermittlung der Grenzen und Darstellung von Überschwemmungsgebieten.
http://www.lanuv.nrw.de/wasser/ueberschwemmung.htm

LANUV NRW (2007b): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten NRW; Teil II: Siedlungsbereiche – Arbeitsblatt Nr. 1, Essen.
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/arbeitsblatt/arbla1/arbla1start.htm

LUA NRW (2000a): Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze. Merkblatt Nr. 22, Essen.
http://www.lanuv.nrw.de/altlast/vlswaltl.htm#vlsw0322

LUA NRW (2000b): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten NRW; Teil I: Außenbereiche – Merkblatt Nr. 24, Essen.
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk24/merk24start.htm

LUA NRW (2003): Fließgewässertypenatlas Nordrhein-Westfalens. Merkblatt Nr. 36, Essen
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk36/merk36start.htm

LUA NRW (2004): Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden gemäß § 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Merkblatt Nr. 44, Essen.
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk44/merk44start.htm

LUA NRW (2006a): Handlungsempfehlungen zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr bei schädlichen stofflichen Bodenveränderungen in der Landwirtschaft. Merkblatt Nr. 55, Essen.
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk55/merk55start.htm

LUA NRW (2006b): Anleitung zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden (GE-Anleitung). Merkblatt Nr. 57, Essen.
http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk57/merk57start.htm

LWG (1995): Landeswassergesetz NRW - Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen vom 25. Juni 1995, zuletzt geändert am 31.03.2010.
http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/doc.app?DATEI=7/dokus/70201.doc&USER_ID=14
http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/doc.app?DATEI=7/dokus/70201.pdf

Marschner, B.; Bösel, C.; Buch, T.; Sroka, S. (2008): Reconstruction of mining and industrial activities in the past centuries from floodplain soil profiles in the Ruhr valley. Proceedings of the 26th Regional Meeting of the International Association of Sedimentologists, Bochum, Germany, Sept. 1-3, 182.

MUNLV NRW (2004): Leitfaden zur Ausweisung von Bodenschutzgebieten http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/m_bsg_arbeitshilfe_aktuell.pdf

MUNLV NRW (2005): Ergebnisberichte NRW – Wasserrahmenrichtlinie Bestandsaufnahme. http://www.niederrhein.nrw.de

Rinklebe, J. (2004): Differenzierung von Auenböden der Mittleren Elbe und Quantifizierung des Einflusses von deren Bodenkennwerten auf die mikrobielle Biomasse und die Bodenenzymaktivitäten von β-Glucosidase, Protease und alkalischer Phosphatase. Dissertation. Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. 113 S. und Anhang.

Rinklebe, J; Franke, C. (2003): Kleinräumige Heterogenität der organischen Substanz und der Bodenreaktion in Auenböden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 102. 1. 17-18.

Rinklebe, J.; Franke; C.; Neue, H.-U. (2007): Aggregation of Floodplain Soils as an Instrument for Predicting Concentrations of Nutrients and Pollutants. Geoderma. 141. 210-223.

Rinklebe, J., Franke, C. & H.-U. Neue (2009): Verbreitung, Eigenschaften und Klassifikation von Auenböden- Auenbodenformen als Indikatoren für Nähr- und Schadstoffkonzentrationen. In: Scholz, M., Henle, K., Dziock, F., Stab, S. & F. Foeckler (Hrsg.): Entwicklung von Indikationssystemen am Beispiel der Elbaue. Ulmer Verlag, Stuttgart, 130-153.

Rinklebe, J.; Heinrich, K.; Franke, C.; Neue, H.-U. (2001): Indikation des Zustandes und der Qualität von Auenböden. UFZ-Bericht. Nr. 8/ 2001. Hrsg.: Scholz, M.; Stab, S.; Henle, K. Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume. 48-56.

Rinklebe, J; Overesch, M.; Stubbe, A.; Neue, H.-U. (2005): Abschlußbericht des vom Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Bundeslandes Sachsen-Anhalt und des Europäischen Strukturfonds (EFRE) geförderten und vom Landesamt für Umweltschutz (LAU) verwalteten Forschungsprojektes „Gefahrenabschätzung für Grundwasser und Nutzpflanzen bei erhöhten Gehalten von Cadmium, Zink, Kupfer, Chrom, Nickel, Blei, Quecksilber und Arsen in Auenböden der Elbe“ (FKZ 76213/08/01). Berichtszeitraum: 01.10.2001 bis 30.09.2005. 281 Seiten.

Schafmeister, M.-Th. 1999. Geostatistik für die hydrogeologische Praxis. Springer, Berlin.

Schönwiese, C.-D. (1985): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.

Stadt Leverkusen (2006): Endbericht: Digitale Bodenbelastungskarten für den Außenbereich der Stadt Leverkusen. Dr. Kerth + Lampe Geo-Infometric GmbH.

Steinert, P.; Pohl, A. (2000): Probleme der Flächenrepräsentanz von Punktdaten, dargestellt am Beispiel einer schwermetallbelasteten Aue – in: UBA – (2000): Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden, UBA Texte 49/00, Berlin

Wälder, K.; Wälder, O.; Rinklebe, J.; Menz, J. (2008): Estimation of Soil Properties with Geostatistical Methods in Floodplains. Archive of Agronomy and Soil Science. 54. 275-295.

Wälder, K., Wälder, O., Rinklebe, J., J. Menz (2009): Methodischer Vergleich geostatistischer Schätzverfahren für Indikationsparameter. In: Scholz, M., Henle, K., Dziock, F., Stab, S. & F. Foeckler (Hrsg.): Entwicklung von Indikationssystemen am Beispiel der Elbaue. Ulmer Verlag, Stuttgart, 349-361.

WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz - Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 31. Juli 2009.. http://igsvtu.lanuv.nrw.de/vtu/doc.app?DATEI=7/dokus/70102.pdf

Anhang 1: Abfall- und bodenschutzrechtliche Anforderungen zum Umgang mit belastetem Bodenmaterial

1) Einführung

Böden und Gewässersedimente von Überschwemmungsgebieten weisen häufig erhebliche Schadstoffbelastungen auf. Zudem sind früher im Zuge gewässerbaulicher Maßnahmen bei Böschungssicherungen oder Sohlauskleidungen belastete Materialien wie z. B. Aschen, Schlacken oder auch Bauschutt eingesetzt worden.

Bei Umgestaltungs- und Renaturierungsmaßnahmen sind neben wasserrechtlichen, wasserwirtschaftlichen, oder auch finanzierungstechnischen Fragen hierbei Fragen des Bodenschutz- und Abfallrechts zu klären, da dabei zum Einen belastete Bodenmassen anfallen, die ggf. zu entsorgen sind, zum Anderen wiederum Bodenmassen gebraucht werden, die entsprechende Qualitäten aufweisen müssen.

Im Folgenden werden die materiellen Anforderungen beider Rechtsbereiche umrissen.

2) Abfallrechtliche Grundsätze

Für den Vorhabenträger einer Umgestaltungs- oder Renaturierungsmaßnahme wird das Abfallrechtsregime beachtlich, wenn es sich bei den ausgehobenen Materialien um Abfall handelt. In diesem Fall trifft den Vorhabenträger grundsätzlich die Pflicht, diese Abfälle einer gemeinwohlverträglichen Entsorgung zuzuführen (§ 5 Abs. 2 bzw. § 11 Abs. 1 KrW-/AbfG).

Die Beurteilung, ob es sich um Abfall handelt, bestimmt sich nach § 3 Abs. 1 bis 4 KrW-/AbfG. Abfälle sind danach alle beweglichen Sachen, die unter die in Anhang I aufgeführten Gruppen fallen und deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Eine Entledigung in diesem Sinne liegt vor, wenn der Besitzer die bewegliche Sache einer Verwertung oder Beseitigung zuführt oder die tatsächliche Sachherrschaft über sie unter Wegfall jeder weiteren Zweckbestimmung aufgibt. Unwiderleglich vermutet wird ein Entledigungswille hinsichtlich solcher beweglicher Sachen, die bei der Energieumwandlung, Herstellung, Behandlung oder Nutzung von Stoffen oder Erzeugnissen oder bei Dienstleistungen anfallen, ohne dass der Zweck der jeweiligen Handlung hierauf gerichtet ist, oder deren ursprüngliche Zweckbestimmung entfällt, ohne dass ein neuer Verwendungszweck unmittelbar an deren Stelle tritt (§ 3 Abs. 3 KrW-/AbfG).

Bodenmaterial wird im Zeitpunkt seiner Entstehung, also mit dem Aushub, zu einer beweglichen Sache, derer sich ihr Besitzer grundsätzlich auch entledigen will, da nach dem Aushub und vor einer Verfüllung als neuer Zweckbestimmung häufig eine Bodenbehandlung oder anderweitige Zwischenlagerung erfolgt und es in diesen Fällen damit grundsätzlich an der Unmittelbarkeit einer neuen Zweckbestimmung i. S. d. § 3 Abs. 3 Nr. 2 KrW-/AbfG fehlen

wird. Etwas Anderes kann im Einzelfall gelten, wenn unbelasteter Bodenaushub mit dem konkreten Ziel einer Verfüllung auf einem Grundstück ausgekoffert - also gleichsam zweckgerichtet „hergestellt“ - und an anderer Stelle wieder eingebracht wird. Genauso ist für den Aushub und die Wiederverfüllung eines Leitungsgrabens grds. nicht von der Entstehung eines Abfalls auszugehen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das durch Bodenaushub anfallende Bodenmaterial grundsätzlich als Abfall gemäß § 3 KrW-/AbfG einzustufen ist.

Stellt der Bodenaushub rechtlich Abfall dar, ist er ordnungsgemäß und schadlos zu verwerten bzw. gemeinwohlverträglich zu beseitigen. Nach § 4 Abs. 1 Nr. 2 KrW-/AbfG sind unvermeidbare Abfälle vorrangig zu verwerten. Daher muss im Weiteren geklärt werden, ob es sich bei dem als Abfall qualifizierten Bodenmaterial um Abfall zur Verwertung oder um Abfall zur Beseitigung handelt.

Nach § 4 Abs. 3 und Abs. 4 KrW-/AbfG ist auf den Hauptzweck der das Material betreffenden Maßnahme abzustellen. Eine stoffliche Verwertung liegt gemäß § 4 Abs. 3 KrW- /AbfG nur dann vor, wenn nach einer wirtschaftlichen Betrachtungsweise, unter Berücksichtigung der im einzelnen Abfall bestehenden Verunreinigungen, der Hauptzweck der Maßnahme in der Nutzung des Abfalls und nicht in der Beseitigung des Schadstoffpotentials liegt. Die stoffliche Verwertung beinhaltet entweder die Nutzung als Sekundärrohstoff oder die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke. Bei Abfall zur Beseitigung steht die Beseitigung des Schadstoffpotentials im Vordergrund, so dass hier regelmäßig nur eine gesicherte Ablagerung auf einer ordnungsgemäß zugelassenen Deponie nach den Vorgaben der Deponieverordnung in Betracht kommt. Die nicht außenverbindlichen Z–Werte der LAGA (Merkblatt: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln TR Boden; Mitteilung M 20: Probenahme und Analytik vom 5.11.2004) sowie die NRW-Verwertererlasse für mineralische Abfälle im Straßenbau können für die Beurteilung des Schadstoffpotentials Orientierungshilfe sein.

Handelt es sich um Abfall zur Verwertung, besteht zwar kein Zulassungserfordernis, jedoch muss die Verwertung ordnungsgemäß und schadlos erfolgen. Sie erfolgt ordnungsgemäß, wenn sie im Einklang mit den Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und anderen öffentlich-rechtlichen Vorschriften, d. h. auch mit den Maßgaben des Bodenschutzrechts, steht (§ 5 Abs. 3 Satz 2 KrW-/AbfG). Eine schadlose Verwertung ist gewährleistet, wenn nach der Beschaffenheit des Materials, dem Ausmaß der Verunreinigung und der Art der Verwertung Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit nicht zu erwarten sind (§ 5 Abs. 3 Satz 3 KrW-/AbfG). Von der zuständigen Behörde ist für die jeweilige Verwertungsmaßnahme im Rahmen ihrer Genehmigung auch zu prüfen, ob die beschriebene Nutzung nach Durchführung einer Maßnahme tatsächlich erreicht werden kann.

Handelt es sich um Abfall zur Beseitigung sind die Grundsätze der gemeinwohlverträglichen Abfallbeseitigung gemäß §§ 10, 11, 27 ff. KrW-/AbfG zu beachten.

3) Anforderungen des Bodenschutzes an die Umlagerung

a) Bodenschutzrechtliche Vorsorgeanforderungen (Grundsatz)

Bodenschutzrechtliche Anforderungen gelten, wenn die jeweilige Einwirkung auf den Boden nicht anderweitig spezialgesetzlich geregelt ist (vgl. § 3 BBodSchG).

Für die Umlagerung von Bodenaushub zur Verfüllung von Gewässerbetten bzw. Auebereichen sind die bodenschutzrechtlichen Anforderungen danach grundsätzlich auch dann bedeutsam, sofern es sich um eine abfallrechtliche Verwertungsmaßnahme handelt (vgl. zu den Ausnahmen § 3 Abs. 1 Nr. 1 BBodSchG). Im Bodenschutzrecht selbst wurden keine Genehmigungstatbestände für die Ablagerung von Bodenaushub geschaffen, gleichwohl können aber zusätzlich Genehmigungsverfahren aus anderen Rechtsbereichen von den Belangen des Bodenschutzes berührt sein.

Soweit es sich um eine Abfallbeseitigungsmaßnahme handelt, werden die bodenschutzrechtlichen Anforderungen grundsätzlich durch die Vorschriften des KrW-/AbfG über die Zulassung und den Betrieb von Abfallbeseitigungsanlagen verdrängt. Ausnahmen hierzu können sich im Einzelfall auf Grund behördlicher Entscheidung nach § 27 Abs. 2 KrW-/AbfG (Ausnahme vom Anlagenzwang nach § 27 Abs. 1 Satz 1 KrW-/AbfG) oder gemäß § 13 Abs. 5 BBodSchG (vgl. u.) ergeben.

Die materiell-rechtlichen Vorsorgeanforderungen ergeben sich aus §§ 6 und 7 BBodSchG i. V. mit §§ 9 und § 12 BBodSchV, wonach bei Maßnahmen, die zu einer Veränderung der Bodenbeschaffenheit führen können, Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen ist. Dabei beschränkt sich das Bodenschutzrecht nicht auf die sog. durchwurzelbare Bodenschicht, sondern unterstellt etwa auch Verfüllungen von Senken oder Abgrabungen grundsätzlich diesen Qualitätsanforderungen (Bei der Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht sind darüber hinaus weitere Anforderungen nach § 12 BBodSchV zu beachten). Konkrete Vorsorgemaßnahmen sind zu ergreifen, wenn schädliche Bodenveränderungen zu besorgen sind (vgl. § 7 Satz 2 BBodSchG), was in der Regel der Fall ist, wenn die Schadstoffgehalte im Boden die im Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV genannten Vorsorgewerte überschreiten oder eine erhebliche Anreicherung von anderen besonders gefährlichen Schadstoffen erfolgt (§ 9 Abs. 1 BBodSchV).

Da es sich bei der Verfüllung von Gewässerbetten bzw. Auebereichen um Maßnahmen handelt, die zu einer Veränderung der Bodenbeschaffenheit führen können, sind die Vorsorgewerte gem. Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV grundsätzlich beachtlich.

Für die Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht (gemäß Definition in § 2 Nr. 11 BBodSchV) bzw. das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht, also für diejenigen beiden Fallgestaltungen, denen die Verfüllung von Gewässerbetten bzw. Auebereichen mit Bodenaushub bzw. Baggergut in der Regel zuzuordnen

sind, enthält § 12 BBodSchV konkretisierende materielle Anforderungen zur Erfüllung der vorgenannten Vorsorgepflicht, die sich wie folgt gliedern:

- § 12 Abs. 2 und 4: Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen darf nicht gegeben sein (vgl. o.: i. d. R. Vorsorgewerte; bei landwirtschaftlicher Folgenutzung 70% davon)
- § 12 Abs. 2: Sicherung / Wiederherstellung von mindestens einer der natürlichen oder bestimmter nutzungsbezogener Bodenfunktionen
- § 12 Abs. 7: Anpassung der Nährstoffzufuhr nach Menge und Verfügbarkeit an den Bedarf der Folgevegetation (Verweis auf DIN 18919)
- § 12 Abs. 8: Beschränkungen bei besonders schutzwürdigen Böden oder Gebieten, insbesondere Wald, Natur- und Wasserschutzgebiete
- § 12 Abs. 9: Vermeidung negativer bodenphysikalischer Wirkungen bei der Aufbringung
- § 12 Abs. 3: Notwendige Untersuchungen durch Pflichtigen und Möglichkeit von Untersuchungsanordnungen

Sofern das zur Umlagerung vorgesehene Bodenmaterial die Vorsorgeanforderungen der BBodSchV einhält, ist die Umlagerung aus bodenschutzrechtlicher Sicht grundsätzlich unproblematisch. In der Regel ist diese Maßnahme dann auch aus wasser- und abfallrechtlicher Sicht (vgl. § 5 Abs. 2 KrW-/AbfG „ordnungsgemäß“) unbedenklich.

b) Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten (1. Ausnahme)

Ausnahmen von dem dargestellten Grundsatz bodenschutzrechtlicher Vorsorgeanforderungen gelten für die Umlagerung von Bodenmaterial innerhalb von Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten. Erhöhte Schadstoffgehalte liegen in einem Gebiet insbesondere vor, wenn auf der Basis flächenrepräsentativer Daten aus dem betrachteten Gebiet der Medianwert zu einem Schadstoff den entsprechenden Vorsorgewert nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschreitet.

aa)

Bei Böden mit naturbedingt oder auch großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten besteht nach **§ 9 Abs. 2 und 3 BBodSchV** die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen bei einer Überschreitung der Vorsorgewerte (unter Einhaltung eines ausreichenden Abstands zu den entsprechenden Prüfwerten) nur dann, wenn eine erhebliche Freisetzung von Schadstoffen oder zusätzliche Einträge durch die nach § 7 Satz 1 BBodSchG Verpflichteten nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen.

Die Auslöseschwelle für die Erforderlichkeit vorsorgender Maßnahmen nach Bodenschutzrecht bei der Umlagerung von Bodenmaterial ist danach in Gebieten mit erhöhten Schad-

stoffgehalten vergleichsweise höher, weil hier allein eine Vorsorgewertüberschreitung durch die Bodeneinwirkung Maßnahmepflichten nicht auslöst.

bb)

Sofern eine Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb eines Gebietes mit erhöhten Schadstoffen beabsichtigt ist, stellt eine Ausnahmeregelung **§ 12 Abs. 10 Satz 1 BBodSchV** für die Einzelmaßnahme dar. Inhalt der Ausnahmeregelung ist dabei die Zulässigkeit einer Bodenmaterialverlagerung innerhalb eines umgrenzten Gebietes, obwohl das Bodenmaterial die schadstoffbezogenen Anforderungen des § 12 Abs. 2, 1. Anstrich BBodSchV i. V. mit § 9 BBodSchV nicht erfüllt. Alle übrigen Anforderungen des § 12 BBodSchV werden von der Ausnahmeregelung dagegen nicht berührt.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Ausnahmeregelung ist,

- dass es sich um eine Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb eines Gebietes mit erhöhten Schadstoffen handelt,
- am Aufbringungsort die vorliegende Schadstoffsituation nicht nachteilig verändert wird (Verschlechterungsverbot) und die Bodenfunktionen nicht zusätzlich beeinträchtigt werden und
- die erforderlichen, insbesondere gebietsbezogenen Informationen vorliegen.

Keine Voraussetzung ist dagegen die behördliche Festlegung des Gebietes mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden.

In Gebieten mit relativ einheitlichem Belastungsniveau können in Anlehnung an die Vorgehensweise bei der Ableitung von Hintergrundwerten gebietsbezogene Beurteilungswerte für die Teilgebiete abgeleitet werden (z. B. 90. Perzentil der gebietsbezogenen Hintergrundwerte). Auf diese Weise kann dem Gebot ausreichend Rechnung getragen werden, dass am Aufbringungsort eine nachteilige Veränderung der Schadstoffsituation sowie eine zusätzliche Beeinträchtigung von Bodenfunktionen vermieden wird, weil eine Verlagerung von Bodenmaterial oberhalb des "allgemein vorhandenen Belastungsniveaus" ausgeschlossen wird.

Selbstverständlich ist in jedem Fall ein ausreichender Abstand zu einer möglichen Gefahrensituation zu berücksichtigen, d. h. die entsprechenden Prüfwerte der zukünftigen Nutzungen sind sicher zu unterschreiten. Zukünftige Nutzungen und damit die entsprechenden Prüfwerte sind zu berücksichtigen.

In Gebieten mit heterogener Belastungssituation ist unter den Umständen des Einzelfalles zu prüfen,

- ob durch gebietsinterne Abgrenzungen sich Teilgebiete mit relativ einheitlichem Belastungsniveau ergeben und/oder

- wie mit der Festlegung differenzierter „gebietsbezogener Beurteilungswerte“ sowie mit auf die bestehenden Verhältnisse abgestimmten Untersuchungspflichten bei der Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb des Gebietes den in § 12 Abs. 10 Satz 1 BBodSchV genannten Anforderungen "keine zusätzliche Beeinträchtigung von Bodenfunktionen" und "Verschlechterungsverbot am Aufbringungsort" ausreichend Rechnung getragen werden.

cc)

Soll im Einzelfall eine Verlagerung von Bodenmaterial mit erhöhten Schadstoffgehalten unter Berufung auf § 12 Abs. 10 BBodSchV bzw. § 9 Abs. 2 bzw. 3 BBodSchV erfolgen, so hat der Pflichtige der zuständigen Bodenschutzbehörde im Zweifelsfall nachzuweisen, dass die Inanspruchnahme der Ausnahmeregelung gerechtfertigt ist. Dazu ist i. d. R. die Vorlage repräsentativer Bodenuntersuchungsergebnisse sowohl des für eine Verlagerung vorgesehenen Materials, des Bodens am vorgesehenen Aufbringungsort sowie in dessen Umfeld innerhalb des unterstellen Gebietes Voraussetzung.

Bei Vorliegen einer umfangreichen repräsentativen Datenbasis ergeben sich bei relativ einheitlichem Belastungsniveau auch Möglichkeiten der Einschränkung der Regeluntersuchungspflichten gem. § 12 Abs. 3 BBodSchV. So kann die Beibehaltung der Regeluntersuchungspflichten bei guter Datenlage und homogenem Belastungsniveau den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit verletzen.

c) Überschreitung der Gefahrenschwelle (2. Ausnahme)

Eine weitere Ausnahme von dem Grundsatz bodenschutzrechtlicher Vorsorgeanforderungen (§ 7 BBodSchG) stellt die Umlagerung von Bodenmaterial im Gebiet eines für verbindlich erklärten Sanierungsplanes bzw. im Rahmen einer behördlichen Anordnung dar (§ 13 Abs. 5 BBodSchG). Hier sind nicht die Vorsorgewerte sondern die Maßstäbe der Gefahrenabwehr einzuhalten. Soweit entnommenes Bodenmaterial im Bereich der von einer Altlastensanierung betroffenen Fläche wieder eingebracht werden soll, gilt nach § 13 Abs. 5 BBodSchG der Vorbehalt des § 27 Abs. 1 Satz 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes nicht.

Nach § 27 Abs. 1 Satz 1 KrW-/AbfG dürfen Abfälle zur Beseitigung grundsätzlich nur in dafür zugelassenen Anlagen behandelt, gelagert oder abgelagert werden. Dies erfordert gemäß § 31 KrW-/AbfG entweder eine Planfeststellung für die Errichtung einer Deponie oder eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung für eine sonstige Abfallbeseitigungsanlage. In der Praxis bedeutete die Durchführung derartiger Verfahren erhebliche Verzögerungen in der

Altlastensanierung, so dass zum Teil Ausnahmegenehmigungen nach § 27 Abs. 2 KrW-/AbfG ausgesprochen wurden. Sofern die Voraussetzungen des § 13 Abs. 5 BBodSchG vorliegen, kann durch eine Anordnung oder einen für verbindlich erklärten Sanierungsplan ein Wiedereinbau unbeeinflusst von § 27 Abs. 1 Satz 1 KrW/AbfG erfolgen.

Nach dem Wortlaut des § 13 Abs. 5 BBodSchG muss es sich zunächst um eine Altlastensanierung handeln. Voraussetzung für das Vorliegen einer Altlast ist nach der Begriffsbestimmung (§ 2 Abs. 5 BBodSchG) z.B., dass es sich um eine stillgelegte Anlage handelt.

Über § 15 Abs. 3 LBodSchG kann sich eine entsprechende Anwendung auch für schädliche Bodenveränderungen (z.B. betriebene Anlagen) ergeben, von denen auf Grund von Art, Ausbreitung oder Menge der Schadstoffe in besonderem Maße Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit ausgehen.

Von dieser Voraussetzung ist beispielsweise bei langjährig betriebenen Wurfscheibenschießständen, von denen besonders sensible Schutzgüter betroffen sind, in der Regel auszugehen.

Weitere Voraussetzung ist, dass durch einen für verbindlich erklärten Sanierungsplan oder eine Anordnung nach § 10 BBodSchG zur Durchsetzung der Pflichten nach § 4 BBodSchG sichergestellt wird, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Hinsichtlich des Wohls der Allgemeinheit ist zunächst auf die bodenschutzrechtlichen Regelungen abzustellen. Hierbei können sich aus einer Gefährdungsabschätzung und festgelegten Sanierungszielen Anhaltspunkte ergeben, da diese bereits das Wohl des einzelnen und der Allgemeinheit berücksichtigen sollen (§ 4 Abs. 3 BBodSchG).

§ 13 Abs. 5 BBodSchG bedeutet eine Verfahrenserleichterung, durch die die materiellen Anforderungen allerdings nicht verringert werden.

Die materiellen Anforderungen an das Wiederauf- oder Einbringen oder die Umlagerung von Materialien im Rahmen der Sanierung im Bereich derselben schädlichen Bodenveränderung oder Altlast oder innerhalb des Gebietes eines für verbindlich erklärten Sanierungsplans ergeben sich aus § 5 Abs. 6 BBodSchV, der § 13 Abs. 5 BBodSchG konkretisiert.

Dem Verweis in § 12 Abs. 11 BBodSchV auf § 5 Abs. 6 BBodSchV ist darüber hinaus zu entnehmen, dass die Regelungen des § 12 BBodSchV und die dort festgelegten weitergehenden Anforderungen nicht für die Umlagerung oder für den Wiedereinbau von Bodenmaterialien im Rahmen der Sanierung einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast gelten.

Allerdings verdeutlicht § 5 Abs. 6 BBodSchV auch, dass die Möglichkeiten der Umlagerung und des Wiedereinbaus beschränkt sind auf die Fläche der schädlichen Bodenveränderung oder Altlast bzw. auf das Sanierungsplangebiet sowie auf Bodenmaterial.

Nach § 5 Abs. 6 BBodSchV sind die Anforderungen des § 4 Abs. 3 BBodSchG zu erfüllen. Dies bedeutet, dass von dem umgelagerten Material keine Gefahren ausgehen dürfen. Nach § 4 Abs. 4 BBodSchG ist die planungsrechtlich zulässige Nutzung zu beachten. Weiterhin ist im Hinblick auf das Wohl der Allgemeinheit hierbei insbesondere relevant, dass von den Bo-

denumlagerungen keine Gefahren für das Grundwasser oder Oberflächengewässer ausgehen dürfen und ggf. geeignete Abdichtungssysteme vorzusehen sind.

Sofern die Voraussetzungen des § 13 Abs. 5 BBodSchG nicht vorliegen (z.B. weil es sich nicht um Bodenmaterial handelt) oder Gefahren im Rahmen der Sanierung nicht ausgeräumt werden können und sich ein Wiedereinbau abfallrechtlich als eine Maßnahme der Abfallbeseitigung oder -verwertung darstellt, gelten die dargestellten abfallrechtlichen Anforderungen.

Umlagerung und Wiedereinbau von Bodenmaterialien im Bereich derselben schädlichen Bodenveränderung oder Altlast oder eines Sanierungsplangebiets sind aus bodenschutzrechtlicher und abfallrechtlicher Sicht unproblematisch, sofern nach Abschluss der Maßnahme hiervon keine Gefahren mehr ausgehen.

d) Bodenmaterial in baulichen Anlagen (3. Ausnahme)

Wird Bodenmaterial in baulichen Anlagen oder bei sonstigen Maßnahmen, die nicht der Herstellung natürlicher Bodenfunktionen am Standort dienen, verwertet, ist die Einhaltung der Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV nicht zwingend geboten. Vielmehr müssen Anlagen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Boden und das Grundwasser als Ganzes also einschließlich ihrer technischen Sicherungsmaßnahmen betrachtet werden. Daraus folgt, dass von der baulichen Anlage bzw. von der Maßnahme als Ganzes nicht die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung ausgehen darf.

Die Zwischenlagerung und die Umlagerung von Bodenmaterial auf Grundstücken im Rahmen der Errichtung oder des Umbaus von baulichen und betrieblichen Anlagen unterliegt nach § 12 Abs. 2 Satz 2 BBodSchV nicht den Regelungen dieses Paragraphen, wenn das Bodenmaterial am Herkunftsort wiederverwendet wird.

Nach dem Wortlaut ist die Anwendung der Ausnahmeregelung ausschließlich im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Umbau von baulichen und betrieblichen Anlagen zu sehen. Dies beinhaltet, dass die damit verbundenen Tätigkeiten zeitlich überschaubar und eingrenzbar, also auf die Zeit der Bautätigkeiten beschränkt sind. Für anfallendes Bodenmaterial, das bei Unterhaltungsmaßnahmen, die zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit von bestimmten Anlagen fortlaufend durchgeführt werden müssen, anfällt ist nach Abs. 2, Satz 2 keine Ausnahmeregelung vorgesehen.

Bei Errichtung und Umbau baulicher oder betrieblicher Anlagen handelt es sich beim ausgehobenen Material wenn es im Bereich desselben Grundstücks verbleibt und bald wieder am gleichen Ort eingebaut wird nicht zwangsläufig um Abfall. Beim Wiedereinbau gelten die Anforderungen des § 12 BBodSchV nicht. Nicht mehr benötigtes / überschüssiges Material unterliegt den abfallrechtlichen Anforderungen.

4) Anforderungen an die Überwachung

Bei der Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten richtet sich die Überwachung nach den Regelungen in § 15 BBodSchG und den konkretisierenden Bestimmungen in § 5 BBodSchV. Das Erreichen des Sanierungsziels sowie die dauerhafte Sicherung des Sanierungserfolges sind gegenüber der zuständigen Behörde zu belegen. Dies gilt auch für das dabei umzulagernde oder einzubauende Material.

Um dies zu gewährleisten haben die zuständigen Behörden die Möglichkeit, im Rahmen der Verbindlichkeitserklärung des Sanierungsplanes oder einer behördlichen Anordnung nach § 10 BBodSchG Nebenbestimmungen festzulegen. Welche Anforderungen in diesem Sinne gestellt werden, muss in jedem Einzelfall in Abhängigkeit von Umfang und Komplexität einer Maßnahme sowie der zukünftigen Nutzung des Geländes entschieden werden.

Sofern das umzulagernde Bodenmaterial abfallrechtlichen Anforderungen unterliegt, regelt das Abfallrecht auch die Überwachung. Daneben sind bodenschutzrechtliche Anforderungen an die Überwachung zu berücksichtigen.

Gem. § 12 Abs. 3 BBodSchV haben die nach § 7 BBodSchG zur Vorsorge Verpflichteten bereits vor dem Auf- und Einbringen von Bodenmaterialien die notwendigen Untersuchungen durchzuführen oder zu veranlassen. Hiermit soll vermieden werden, dass ungeeignete Materialien aufgebracht werden, die dann ggf. wieder kostenträchtig entfernt werden müssen.

Die Notwendigkeit von Untersuchungen wird sich immer dann ergeben, wenn die Herkunft der Materialien nicht eindeutig zurückverfolgt werden kann. Bei dem eingesetzten Bodenmaterial wird es vor Allem darauf ankommen, den Herkunftsort zu benennen. Wird Bodenmaterial z. B. von bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen, die nicht in einem Gebiet geogen oder siedlungsbedingt erhöhter Schadstoffgehalte liegen eingebaut, kann davon ausgegangen werden, dass keine Notwendigkeit für Untersuchungen besteht.

Die zuständige Behörde hat jedoch die Möglichkeit, Untersuchungen der stofflichen Qualität der eingesetzten Materialien anzuordnen. Ferner kann sie Untersuchungen hinsichtlich der Bodeneigenschaften am Standort anordnen, wenn das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung zu befürchten ist. Um der Behörde bereits frühzeitig eine entsprechende Untersuchungsforderung zu ermöglichen, sieht § 2 Abs. 2 LBodSchG für bestimmte Fallgestaltungen eine Anzeigepflicht vor.

Beim Einbau von Materialien eines anderen Herkunftsorts können grundsätzlich auch Regelungen für eine Eingangskontrolle mit den notwendigen Schritten wie,

- organoleptische Kontrolle,
- Prüfung der Begleitpapiere (u. a. Untersuchungsergebnisse) sowie
- Probenahme /Analyse im Einzelfall auf Grund der Herkunft bzw. auf Grund von Ergebnissen bei der organoleptischen Kontrolle

notwendig werden.

Dabei sollte eine Dokumentation der Ergebnisse der Eingangskontrolle hinsichtlich

- Menge des Erdaushubs,
- Ergebnisse der organoleptischen Kontrolle bzw.
- Ergebnisse der durchgeführten Analysen sowie
- Ort der Einbaustelle

erfolgen. Die Ergebnisse von Untersuchungen der Bodeneigenschaften am Standort sowie evtl. durchgeführte Kontrollprüfungen sollte ebenfalls dokumentiert werden.

Um bei einer späteren Überprüfung belastetes Bodenmaterial einer bestimmten Charge und damit einem Abfallerzeuger zuzuordnen, empfiehlt es sich darüber hinaus in Einzelfällen, die tatsächlichen Einbaustellen genau zu erfassen.

Bei größeren Maßnahmen sollte die Einschaltung eines Fremdgutachters erwogen werden. Grundsätzlich ist jedoch auch bei kleineren Maßnahmen zumindest eine stichprobenhafte Kontrolle der Ablagerungen sinnvoll.

Darüber hinaus wird zur Überwachung von Materialaufbringungen auf die Möglichkeit der Anordnungen zur Nachweisführung nach § 44 KrWG/AbfG hingewiesen.

Anhang 2: Anwendung geostatistischer Methoden in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen

Für eine geostatistische Auswertung von Daten mit Hilfe einer Dateninterpolation, wie es bei der Erstellung von Digitalen Bodenbelastungskarten angewendet wird, ist eine große Anzahl von Proben notwendig, um eine hohe Schätzgüte zu erreichen. Die im Rahmen vorhandener BBK erhobenen Daten bzw. die Daten aus dem FIS StoBo werden vermutlich bei der derzeitigen Messnetzdichte nicht ausreichen, um Schätzkarten in Auenbereichen mit einer hohen Belastbarkeit zu erzeugen. Dafür sind eine deutliche Verdichtung des Messnetzes und eine auenspezifische geostatistische Auswertung erforderlich, die in der Praxis auf Grund des finanziellen Aufwands nicht immer vorausgesetzt werden können. Zusätzlich sind für geostatistische Auswertungen Berechnungen von Korrekturfaktoren sowie weitere Datenaufbereitungsschritte notwendig, welche die Bearbeitungszeit und damit die Kosten erhöhen.

Grundsätzlich ist anzustreben, mit Hilfe einer geostatistischen Interpolation Schätzkarten für Stoffgehalte in Böden der Auenbereiche mit einer minimalen Ungenauigkeit zu erzeugen. Vor dem Hintergrund der begrenzten Finanzmittel in Unteren Bodenschutzbehörden liegt der Schwerpunkt des Konzepts auf der Ermittlung einer praktikablen und mit geringem Aufwand durchzuführenden Vorgehensweise.

Die Verwendung von geostatistischen Methoden zur flächenhaften Prognose von Schadstoffgehalten in Böden hat sich auch in Auenbereiche bewährt (Steinert & Pohl 2000, Wälder et al. 2008 und 2009).

Im Gegensatz zur Erstellung der Digitalen Bodenbelastungskarten für Außen- und Siedlungsbereiche ist es notwendig, die Art der Interpolation der Punktdaten an die Fragestellung anzupassen. Eine konzentrische Interpolation erscheint für die Abschätzung der stofflichen Belastung in Auenbereichen nicht sinnvoll. Die an die Fließrichtung der Gewässer gekoppelte Richtung des Transports der vorhandenen/eingetragenen Schadstoffe gibt die Art der notwendigen Interpolation vor. Für die im Projekt zu bearbeitende Fragestellung kommt somit (mit Ausnahme der Rückstaubereiche, wie z.B. Mündungsgebiete) nur eine in Fließrichtung der Gewässer gerichtete Interpolation in Frage (s. u.).

Die für die Stoffbelastung bestimmenden Faktoren in überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen (siehe Kap. 2) werden über die (quasi-)homogenen Raumeinheiten in das Konzept integriert und auf diesem Wege bei der Interpolation berücksichtigt (vgl. hierzu auch Rinklebe 2004, Rinklebe et al. 1999, 2001, 2005, 2007, DuLaing et al. 2008, Wälder et al. 2008 und 2009).

Mit der geostatistischen Auswertung werden die räumlichen Nachbarschaftsbeziehungen zwischen punktuellen Messwerten berücksichtigt, um ein räumliches Modell von Schadstoffgehalten im Oberboden zu erhalten. Insbesondere in Auenböden ist damit zu rechnen, dass Stoffgehalte einen räumlichen Zusammenhang aufweisen und damit für geostatistische Schätzungen geeignet sind. Auch ist in Auen zu erwarten, dass die Ähnlichkeit von Werten für Schadstoffgehalte mit zunehmendem Abstand richtungsabhängig – z. B. in Fließrichtung/quer zur Fließrichtung des Gewässers – generell abnimmt (s. o.). Entsprechende

großskalige Zusammenhänge können über Trendfunktionalitäten oder durch Abhängigkeiten der Stoffgehalte von bestimmten Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

Um die Eignung von Daten für eine geostatistische Interpolation vorbereitend zu prüfen, ist im ersten Schritt die räumliche Autokorrelation mittels Variogrammanalyse zu untersuchen. Die Variogrammanalyse kann – wie die Interpolation selbst – z.B. mit dem ArcGIS Geostatistical Analyst (ESRI) durchgeführt werden. Das Variogrammmodell kann schließlich – nach Plausibilitätsprüfung z. B. durch eine Kreuzvalidierung – in den geostatistischen Schätzvorgang (Interpolation durch Kriging, s. u.) einfließen (Schafmeister 1999, Akin 1992). Mit dem Geostatistical Analyst können auch anisotrope, d. h. je nach Raumrichtung variierende Variogramme in die räumliche Schätzung einbezogen werden, so dass die Anforderung einer gerichteten Interpolation in Auen erfüllt werden kann. Hierzu kann es bei stark mäandrierendem Flusslauf notwendig sein, Transformationen zur Normierung der Richtungskomponente durchzuführen.

Die Software Geostatistical Analyst, mit deren Hilfe sowohl Ordinary Kriging, Universal Kriging, Co-Kriging als auch Indikator Kriging ausgeführt werden kann, eignet sich in besonderer Weise zur Erprobung verschiedener Verfahren, um eine bestmögliche Aussagesicherheit der Interpolation zu erhalten.

Die Interpolation kann innerhalb von Raumeinheiten oder nach Möglichkeit mit Hilfe von Korrekturfaktoren für die wesentlichen Einflüsse über Raumeinheiten hinweg erfolgen.