

Digitale Bodenbelastungskarten – Methodenbeschreibung

Gebietsbeschreibung und Bewertung der Schadstoffgehalte

Das Übertragen von Punktdaten auf die Fläche ist an methodische Anforderungen gebunden, um systematische Fehler zu vermeiden und damit eine rechtlich belastbare Schätzung für die Flächen ohne Messwerte sicherzustellen. Die methodischen Anforderungen, welche aus Sicht des gebietsbezogenen Bodenschutzes erfüllt werden müssen, sind u. a. in den folgenden Berichten beschrieben:

- MUNLV (Hrsg.) (2004): Leitfaden zur Ausweisung von Bodenschutzgebieten.
[Mehr Infos](#)
- LUA (Hrsg.) (2000a): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten. Teil I: Außenbereiche. Hrsg. von Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, LUA-Merkblatt Nr. 24.
- LUA (Hrsg.) (2000b): Weitere Sachverhaltsermittlung bei der Überschreitung von Prüfwerten nach der Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung für die Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, LUA-Merkblatt Nr. 22.
- LUA (Hrsg.) (2002): Grundlagen und Empfehlungen zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten im Siedlungsbereich. Autoren: Barkowski et al.
- UMEG (2002): Anleitung zur Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden.
[GSE-Anleitung \(1,3 MB, pdf\)](#)
- LABO-Projekt „Geostatistische und statistische Methoden und Auswerteverfahren für Geodaten mit Punkt- und Flächenbezug“.
[Infos und Download](#)
- Feldwisch, N., O. Hendrichske, A. Schmehl (2003): Gebietsbezogener Bodenschutz. Bodenschutzgebiete, Bodenplanungsgebiete und Bodenbelastungsgebiete im Gefüge des Umwelt- und Planungsrechtes – rechtliche und bodenschutzfachliche Grundlagen. Bodenschutz & Altlasten, Band 13. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
[Download Rezensionen](#) (38kB, pdf) [Verlagsseite](#)
- Feldwisch, N., K. Kardel (2004): Vollzugshilfe im Rahmen der Bewertung großflächiger schädlicher Bodenveränderungen. Tagungsband der 5. Sächsische Bodenschutztage 26. und 27. Juni 2003 in Dresden Bodenschutz und Nachhaltigkeit, Veranstalter und Herausgeber: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Band 5, Seite 208 – 229.
[Download des Tagungsbeitrages](#) (1 MB, pdf).
- Feldwisch, N. (2003): Rechtliche und fachliche Anforderungen an die Umsetzung des Bodenschutzrechtes in Gebieten mit flächenhaften stofflichen Bodenbelastungen. Vortrag auf Veranstaltung des Landesamtes für Umwelt und Natur Schleswig-Holstein Stoffgehalte der Böden und ihre räumliche Verteilung vom 11. November 2003, Flintbek.
[Download des Tagungsbeitrags](#) (645 KB, pdf)



Unser Sachverständiger für Bodenschutz und Altlasten:

Dr. Norbert Feldwisch ist von der Industrie- und Handelskammer zu Köln öffentlich bestellt und vereidigt als Sachverständiger für Gefährdungsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Pflanze / Vorsorge zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien sowie zur Gefahrenermittlung, -beurteilung und -abwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser.

Allgemeine statistische Datenauswertung

Bevor eine Übertragung von Punktdaten in die Fläche vorgenommen werden kann, müssen die Messwerte einer allgemeinen statistischen Auswertung unterzogen werden, welche die Eignung der Daten zur weiteren Auswertung überprüft. Dazu sind für statistische Kenngrößen wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum, Maximum, Quartile und Schiefe für die Bodendaten zu ermitteln. Die Analyse des Verteilungstypes der Grundgesamtheit ist besonders bedeutsam, weil statistische Verfahren (z.B. Korrelations- und Regressionsanalysen, Interpolation mittels Kriging) zumindest annähernd normalverteilte Grundgesamtheiten voraussetzen. Ist die Grundgesamtheit links- oder rechtsschief verteilt, dann kann ggf. mit Hilfe von Transformationen wie dem Logarithmieren eine Normalverteilung erreicht werden. Ferner sind Ausreißer mit geeigneten statistischen Verfahren zu ermitteln und unter Umständen von der weiteren Auswertung auszuschließen.

Bildung von homogenen Raumeinheiten

Als Voraussetzung für die Übertragung von Punktdaten auf die Fläche müssen räumlich beschreibbare Abhängigkeiten von Stoffgehalten in Böden vorliegen. Mit anderen Worten, die Stoffgehalte dürfen nicht zufällig im Raum verteilt sein, sondern sie folgen räumlich abgrenzbaren Gesetzmäßigkeiten. Als einfache räumliche Gesetzmäßigkeiten sind zum Beispiel zu benennen, dass die Schadstoffgehalte zumeist mit zunehmender Entfernung von Emissionsquellen abnehmen. Weiterhin unterscheiden sich die Schadstoffgehalte in Böden unterschiedlicher Nutzung; in der Regel nehmen die Schadstoffgehalte von Waldböden über Grünlandböden bis hin zu Ackerböden ab. Auch sind Böden in Überschwemmungsgebieten meist höher belastet als Böden außerhalb von Überschwemmungsgebieten. Nicht zuletzt prägt der Schwermetallgehalt des Ausgangssubstrats der Bodenbildung den Schadstoffgehalt und das Schadstoffspektrum von Böden.

Diese räumlichen Gesetzmäßigkeiten sind zu beschreiben und bei der Übertragung von Punktdaten auf die Fläche zu berücksichtigen. Zur räumlichen Abgrenzung und Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten werden mit Hilfe der für den Betrachtungsraum wesentlichen Einflussgrößen auf die Schadstoffgehalte so genannte homogene Raumeinheiten gebildet. Homogene Raumeinheiten können durch das Verschneiden der Grundlagenkarten ermittelt werden. Dabei kann unterstützend auf statistische Methoden zurückgegriffen werden, welche den Grad der Übereinstimmung von Merkmalsausprägungen von Teilflächen oder Probennahmestellen dazu nutzen, diese zu Gruppen ähnlicher Einheiten zusammenzufassen. Als Methode steht dazu die so genannte Clusteranalyse zur Verfügung. Im Rahmen der Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten sollte zum Beispiel zur Strukturierung und Zusammenfassung der zumeist in hoher Anzahl vorkommenden oberflächennahen Gesteine eine entsprechende Analyse durchgeführt werden.

Im Ergebnis erhält man für das Untersuchungsgebiet eine überschaubare Anzahl homogener Raumeinheiten, die sich hinsichtlich der stofflichen Belastungen unterscheiden.

Erstellen von Karten der geschätzten Schadstoffgehalte (Bodenbelastungskarten)

Die Beschreibung der räumlichen Gesetzmäßigkeiten ermöglicht es, mit verschiedenen Verfahren Punktdaten auf die Fläche zu übertragen. So können zum Beispiel statistische Kennwerte zu Schadstoffgehalten in Böden, die für eine homogene Raumeinheit anhand von Messwerten zu



berechnen sind, auf Flächen der gleichen homogenen Raumeinheit übertragen werden. Die Ergebnisse der Punktmessungen können auch durch räumliche Interpolation mit Hilfe von Kriging-Verfahren auf den Raum übertragen werden (vgl. Textkasten). Dieses Verfahren ermöglicht eine stärkere räumliche Auflösung der geschätzten Stoffgehalte, setzt aber bestimmte statistischen Anforderungen an die Datenstruktur und -aufbereitung voraus, die unbedingt eingehalten werden müssen, um Schätzfehler zu minimieren. Weitere methodische Hinweise können u.a. LUA (2000a und 2002), UMEG (2002a+b) und Feldwisch et al. (2003) entnommen werden.

Exkurs zur Übertragung von Punktdaten auf die Fläche mit Hilfe der Interpolation

Die exakte Wiedergabe von gemessenen Punktwerten ist nur durch eine Punktdarstellung möglich. Von Interesse ist aber meist die flächenhafte Verteilung von Bodeneigenschaften. Es gibt vielseitige Methoden um die Punktwerte flächenhaft darzustellen. So können z. B. durch Interpolation Punktdaten auf die Fläche übertragen werden. Derzeit existieren mehrere Interpolationsmethoden. Die einzelnen Interpolationsmethoden zur Berechnung unbekannter Punkte zwischen den Probennahmepunkten unterschieden sich insbesondere in der Methodik zur Wichtung der bekannten Probennahmewerte. Weit verbreitete Methoden zur räumlichen Interpolation sind die Kriging-Methoden (Altfelder et al. 2002, Linder & Kardel 2000, Papritz & Duois 1999, Saito & Goovaerts 2000, UMEG 2002a+b). Bei den Kriging-Methoden wird im Gegensatz zu anderen Interpolationsverfahren auch die räumliche Variabilität berücksichtigt (Anlauf et al. 1988). Ein großer Vorteil des Kriging besteht in der Möglichkeit, den Schätzfehler für die interpolierten Werte anzugeben (Gotway et al. 1996).

Um eine Interpolation mit einer Kriging-Methode zu ermöglichen, müssen die Punktdaten in einem räumlichen Zusammenhang stehen. Dabei kann es notwendig werden, dass die Messwerte von bestimmten Einflüssen (z.B. Überschwemmungseinfluss) bereinigt werden, um überhaupt eine räumliche Abhängigkeit gewährleisten zu können (Bildung von homogenen Raumeinheiten).

Durch die Berechnung von Variogrammen kann z.B. die räumliche Variabilität bestimmt werden. Ein Variogramm beschreibt die durchschnittliche Varianz der Messwerte von Punktepaaren mit einem bestimmten Abstand h in einem Messfeld als Funktion von eben diesem Abstand. Das Variogramm gibt also ein Maß für die Ähnlichkeit von Messergebnissen zwischen Punktepaaren gleichen Abstands (ANLAUF et al. 1988). Wenn ein statistisch abgesicherter räumlicher Zusammenhang besteht, sollten die Punkte mit einem geringeren Abstand eine niedrigere Varianz aufweisen als Punkte mit größerem Abstand. Die räumliche Abhängigkeit reicht bis zu dem Abstand, an dem die Steigung der Kurve in ein Plateau übergeht. Das Variogramm gibt durch den Bereich der räumlichen Abhängigkeit den größtmöglichen Interpolationsradius vor.

Dadurch kann man Schätzwerte in Abhängigkeit ihrer Entfernung zu benachbarten Messwerten berechnen und somit auf der Basis von Punktmessungen flächendeckende Schätzwertekarten erstellen.



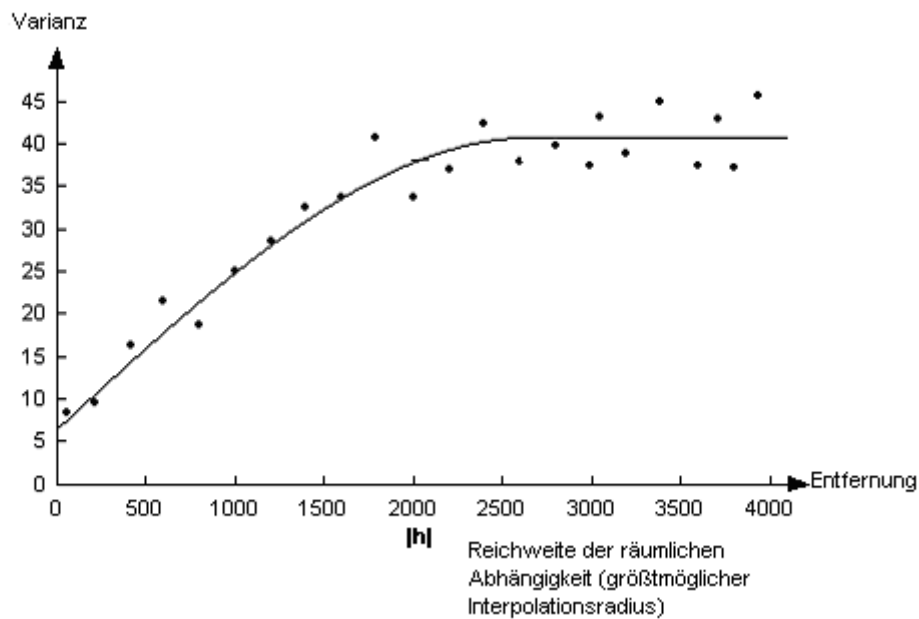


Abb. 1 Variogramm

Fehler bei der Anwendung von Interpolationsverfahren entstehen zumeist dadurch, dass die statistischen und geostatistischen Anforderungen nicht bzw. nicht ausreichend berücksichtigt werden, indem z.B. nicht überprüft wird, ob der vorliegende Datensatz eine Grundgesamtheit darstellt oder ob er in Teildatensätze untergliedert werden muss.

Weiterhin können Fehler bei Schätzwertekarten verursacht werden, wenn bei einem vergleichsweise weiten Messnetz der Interpolationsradius zielorientiert so gewählt wird, dass zwar eine flächendeckende Schätzwertekarte für ein Gebiet erstellt werden kann, dieser Interpolationsradius aber über die geostatistisch mit Hilfe der Variogrammanalyse ermittelte räumlichen Abhängigkeit der Stoffgehalte hinausreicht. Konkret heißt das am Beispiel der Abbildung, wenn anstatt mit ca. 2500 m Radius, der aus dem Variogramm abgelesen werden kann, mit größeren Radien interpoliert wird, dann sind die Schätzergebnisse wegen der Verletzung der geostatistischen Voraussetzungen nicht abgesichert und können von der Wirklichkeit vollständig abweichen.

Die Methodik und die Anwendungsgrenzen der Interpolation werden ausführlich u.a. von CLARK & HARPER (2000), GOOVAERTS (1997), PEBESMA (2001) und WACKERNAGEL (2003) beschrieben.



Unser Sachverstand für Bodenschutz und Altlasten:

Dr. Norbert Feldwisch ist von der Industrie- und Handelskammer zu Köln öffentlich bestellt und vereidigt als Sachverständiger für Gefährdungsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Pflanze / Vorsorge zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien sowie zur Gefahrenermittlung, -beurteilung und -abwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser.

Bewertung der Karten der geschätzten Stoffgehalte

Die Bewertung der stofflichen Bodenbelastung erfolgt vor dem Hintergrund einer unterschiedlichen bodenschutzrechtlichen Relevanz von Mess- und Schätzwerten. Maßstab für die Bewertung der Relevanz sind die Anforderungen der BBodSchV an Bodendaten, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

1. Messwerte erlauben eine unmittelbare einzelfallbezogene Beurteilung der stofflichen Bodenbelastung mit konkretem Grundstücksbezug.
2. Schätzwerte zur Beschreibung und Bewertung der Bodenbelastung in Gebieten haben im Vergleich zu Messwerten eine geringere Aussagekraft. Sie bedürfen einer zusätzlichen bodenschutzfachlichen Qualifizierung wie z.B. einer statistischen oder geostatistischen Betrachtung, um anhand der Schätzgüte die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Beurteilungswerten bewerten zu können.

Im Einzelnen sind die Aussagemöglichkeiten auf der Basis von Mess- und Schätzwerten in Tab. 1 aufgeführt.

Bodendaten	Aussagemöglichkeit	Rechtlicher Bezug
Messwerte für Grundstück		
Messwerte > Vorsorgewerte	Beim Auf- und Einbringen von Materialien Untersuchungspflicht im Rahmen der Umsetzung von §12 BBodSchV	§ 12 Abs. 3 BBodSchV
Messwerte > Prüfwerte	Konkrete Anhaltspunkte – Detailuntersuchung: Grundstücksbezogenes Beurteilen der Gefahren (Einzelfallbetrachtung)	§ 8 Abs. 1 Nr. 1 BBodSchG i.V.m. § 3 Abs. 4 BBodSchV
Messwerte > gebietsbezogene Beurteilungswerte (= Prüfwerte korrigiert um Verfügbarkeit und Exposition)*	In der Regel Ergreifen von geeigneten, erforderlichen und angemessenen Sanierungs- bzw. Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	§ 10 Abs. 1 BBodSchG i.V.m. § 4 Abs. 4 BBodSchV
Messwerte > Maßnahmenwerte	In der Regel Ergreifen von geeigneten, erforderlichen und angemessenen Sanierungs- bzw. Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	§§ 8 Abs. 1 Nr. 2 und 10 BBodSchG



Schätzwerte für Gebiet bzw. Teilgebiete (Übertragung von Messergebnissen vergleichbarer Flächen oder Interpolation)

Schätzwerte > Vorsorgewerte	Beim Auf- und Einbringen von Materialien Untersuchungspflicht im Rahmen der Umsetzung von §12 BBodSchV; bei flächenhaften Überschreitungen der Vorsorgewerte ggf. Befreiung von Untersuchungspflichten	§ 12 Abs. 3 und ggf. § 12 Abs. 10 BBodSchV
Schätzwerte > Prüf-/Maßnahmenwerte	Anhaltspunkte – Orientierende Untersuchung	§ 9 Abs. 1 Satz 1 BBodSchG i.V.m. § 3 Abs. 3 BBodSchV
Schätzwerte > Prüfwerte in Verbindung mit einer zusätzlichen Qualifizierung wie z.B. einer statistischen oder geostatistischen Betrachtung der Schätzgüte	Konkrete Anhaltspunkte – Detailuntersuchung: Gebietsbezogenes Beurteilen der Gefahren	§ 8 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BBodSchG i.V.m. § 3 Abs. 4 BBodSchV
Schätzwerte > gebietsbezogene Beurteilungswerte (= Prüfwerte korrigiert um Verfügbarkeit und Exposition)* oder > Maßnahmenwerte in Verbindung mit einer zusätzlichen Qualifizierung der Schätzwerte wie z.B. einer statistischen oder geostatistischen Betrachtung der Schätzgüte	In der Regel Ergreifen von geeigneten, erforderlichen und angemessenen Sanierungs- bzw. Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	§ 10 Abs. 1 BBodSchG i.V.m. § 4 Abs. 4 BBo

Die in Tab. 1 beschriebenen prinzipiellen Unterschiede zwischen der Aussagekraft von grundstücksbezogenen Messwerten und flächenbezogenen Schätzwerten wird in Abb. 2 noch einmal schematisch dargestellt. Betrachtet wird ein Raumausschnitt mit zwei Messwerten auf zwei voneinander getrennten Grundstücken. Auf dem einen Grundstück wird der bewertungsrelevante Prüfwert vom Messwert unterschritten, auf dem anderen um mehr als das Doppelte überschritten. Eingedenk der einzelfallbezogenen weiteren Sachverhaltsermittlung im Rahmen der Detailuntersuchung können bei Bestätigung der Gefahr auf dem Grundstück mit mehr als doppelter Prüfwertüberschreitung unmittelbar Sanierungs- oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen angeordnet werden.



Unser Sachverständiger für Bodenschutz und Altlasten:

Dr. Norbert Feldwisch ist von der Industrie- und Handelskammer zu Köln öffentlich bestellt und vereidigt als Sachverständiger für Gefährdungsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Pflanze / Vorsorge zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien sowie zur Gefahrenermittlung, -beurteilung und -abwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser.



Für die Fläche mit Prüfwertunterschreitungen kann der Gefahrenverdacht ausgeräumt werden, so dass keine weiteren Maßnahmen notwendig sind. Bei dieser grundstücksbezogenen Betrachtung können für die restlichen (weißen) Flächen keine Aussagen im Hinblick auf ggf. notwendige Vollzugsaufgaben gemacht werden.

Um für die Flächen ohne Messwerte dennoch eine bodenschutzrechtliche Bewertung vornehmen zu können, werden die Ergebnisse der Punktmessungen mit geeigneten Verfahren auf die Fläche übertragen; im Beispiel wird das Ergebnis einer räumlichen Interpolation dargestellt. Die Karte der geschätzten Stoffgehalte vermittelt einen Eindruck über die räumliche Verteilung der stofflichen Bodenbelastung.

Die Schätzung weist jedoch Schätzfehler auf, welche die Aussagekraft der Karte „Geschätzte Stoffgehalte“ einschränkt. Mit Hilfe der Schätzfehler kann man die Aussagesicherheit der Schätzung beschreiben. Im Beispiel wird auf der Grundlage der geschätzten Stoffgehalte und der zugehörigen Schätzfehler (nicht dargestellt) die Überschreitungswahrscheinlichkeit für den bewertungsrelevanten Prüfwert visualisiert (Karte der Überschreitungswahrscheinlichkeit). Dazu wird zwischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 50, 75, 90 und 95 % differenziert. Diese Darstellungsweise macht es möglich, Flächen zu identifizieren, auf denen der bewertungsrelevante Prüfwert mit sehr großer Wahrscheinlichkeit überschritten wird, ohne dass für diese Flächen ein Messwert vorliegen muss. In diesem Fall erhalten Schätzwerte die gleiche bodenschutzrechtliche Relevanz wie Messwerte. Als Konvention wird vorgeschlagen, die 90%-Isolinie der Überschreitungswahrscheinlichkeit als statistische Anforderung an Schätzwerte zu definieren.

Im Ergebnis können Gebiete mit Überschreitungen der 90%-Isolinie hinsichtlich der Vollzugsaufgaben den Grundstücken mit Messwerten gleichgesetzt werden, ohne dass für jedes Grundstück in diesem Gebiet ein Messwert vorliegen muss. Im Bereich zwischen einer 50 und 90 %-igen Überschreitungswahrscheinlichkeit sind die Schätzwerte nicht ausreichend konkret genug, um auf dieser Basis unmittelbar Anordnungen begründen zu können. Innerhalb dieser Flächen sind ggf. die Schätzfehler durch weitere Untersuchungen zu reduzieren, um zu einer abschließenden Gefahrenbeurteilung zu kommen.



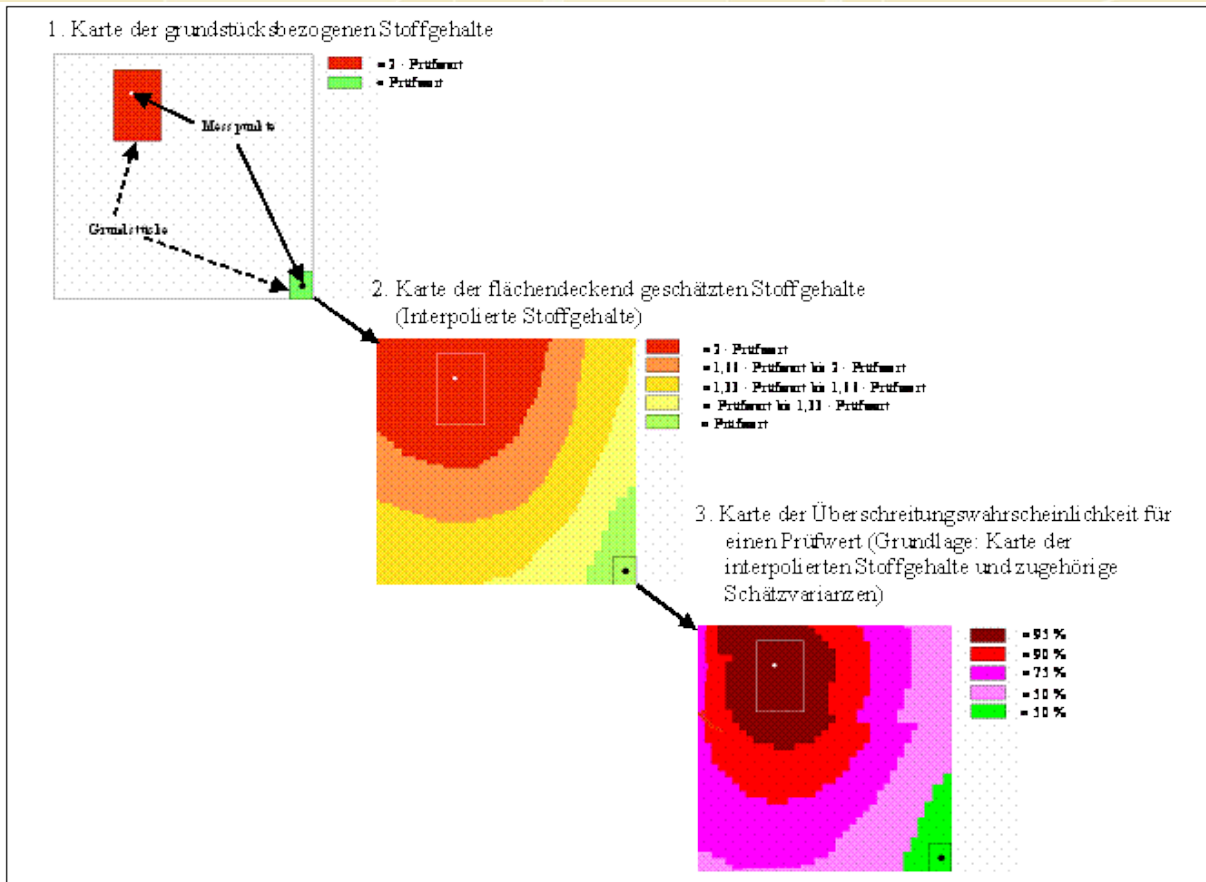


Abb. 2: Schematische Darstellung der Unterschiede zwischen der Aussagekraft grundstücksbezogener Messwerte und flächenbezogenen Schätzwerte. Hinweis: Dargestellt sind jeweils Kartenausschnitte, das heißt, außerhalb des Ausschnittes befinden sich weitere Messpunkte, die zur Interpolation herangezogen wurden.

Die Methodik zur Erstellung von Karten der Überschreitungswahrscheinlichkeit bzw. der Aussagesicherheit ist in BARKOWSKI et al. (2002) näher beschrieben. Ein praktisches Anwendungsbeispiel liegt für die Stadt Duisburg vor und kann im Internet abgerufen werden (Internetadresse: <http://www.duisburg.de/...>; weiter über „Umweltamt“ und entsprechende Hinweise).

Hinweis: Die Ausführungen sind dem „Leitfaden zur Ausweisung von Bodenschutzgebieten“ entnommen. Der Leitfaden wurde vom Ingenieurbüro Feldwisch im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV) im Jahr 2003 fertig gestellt. [Mehr Infos](#)



Unser Sachverständiger für Bodenschutz und Altlasten:

Dr. Norbert Feldwisch ist von der Industrie- und Handelskammer zu Köln öffentlich bestellt und vereidigt als Sachverständiger für Gefährdungsabschätzungen für den Wirkungspfad Boden-Pflanze / Vorsorge zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien sowie zur Gefahrenermittlung, -beurteilung und -abwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser.

