

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG, Kommission I+II  
Titel der Tagung:  
Böden – eine endliche Ressource  
Veranstalter:  
DBG, September 2009, Bonn  
Berichte der DBG  
(nicht begutachtete online-Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## Hintergrundkonzentrationen von Spurenelementen in der Grundwasserneubildung in Norddeutschland und deren räumliche Variabilität

DUIJNISVELD, W.H.M.<sup>1)</sup>, GODBERSEN, L.<sup>2)</sup>,  
UTERMANN, J.<sup>1)</sup>, DILLING, J.<sup>3)</sup>,  
GÄBLER, H.-E.<sup>1)</sup>

Schlüsselworte: Hintergrundkonzentrationen, Spurenelemente, Sickerwasser, oberflächennahes Grundwasser, Prüfwerte, Bodenschutz, BBodSchV, Saugsonde, räumliche Variabilität

### Einleitung

Eine wesentliche Grundlage für die Ableitung, Fortschreibung und Anwendung von Prüfwerten nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) für den Pfad Boden-Grundwasser sind Kenntnisse über repräsentative Hintergrundkonzentrationen von Schadstoffen im Bodensickerwasser. Da bisher kaum bundesweit einheitlich erhobene und ausgewertete Daten zur Beschaffenheit des Sickerwassers im Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone zur Verfügung standen, wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens die Beprobung des Sickerwassers von verschiedenen Bodenausgangsgesteinsgruppen in Norddeutschland durchgeführt.

<sup>1)</sup> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover

<sup>2)</sup> Institut für physische Geographie und Landschaftsökologie, Leibniz Universität Hannover

<sup>3)</sup> Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

E-mail: [Wilhelmus.Duijnsveld@bgr.de](mailto:Wilhelmus.Duijnsveld@bgr.de)

Die erstellte Datenbasis wurde zur Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundkonzentrationen ausgewertet. Da die zeitliche und räumliche Variabilität von Konzentrationen im Bodensickerwasser die Unsicherheit der abgeleiteten flächenrepräsentativen Hintergrundkonzentrationen wesentlich beeinflussen, wurden diese beiden Eigenschaften untersucht. In diesem Beitrag wird die räumliche Variabilität näher betrachtet.

### Material und Methoden

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine einheitliche Methodik zur Beprobung des Sickerwassers zur Bestimmung von anorganischen Spurenstoffkonzentrationen im Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone und zur Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundkonzentrationen entwickelt. In Abb. 1 ist das Beprobungsverfahren schematisch dargestellt. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Beprobung des Sickerwassers im oberflächennahen Grundwasser (SW-oGW; bis ca. 10 cm unterhalb des Grundwasserspiegels) mehrere Vorteile aufweist und repräsentativ für das Sickerwasser aus dem Boden ist, wenn bestimmte Randbedingungen bei der Beprobung eingehalten werden (Duijnsveld et al., 2008).

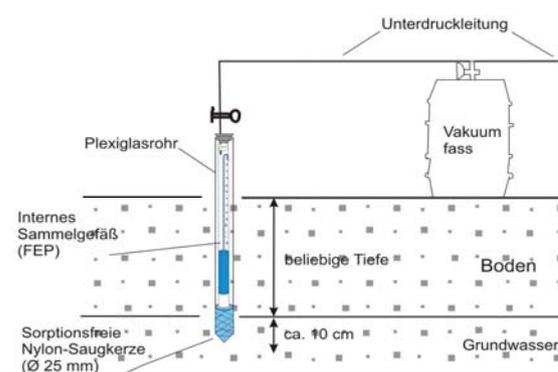


Abbildung 1: Prinzip einer Saugsondebeprobungsanlage mit interner Probensammlung zur Bestimmung von anorganischen Spurenstoffen im Sickerwasser

Die Beprobung in diesem Projekt wurde vorrangig auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) bzw. Flächen der Bodenzu-

standserhebung im Wald (BZE) der Länder durchgeführt, da sie eine regionale Repräsentanz aufweisen und die von diesen Flächen vorliegenden bodenkundlichen und bodenchemischen Daten eine gezielte Auswahl ermöglichen. Im Rahmen dieses Projektes wurden nur Flächen unter landwirtschaftlicher (Acker/Grünland) und forstwirtschaftlicher Nutzung beprobt. Die Auswahl der Standorte erfolgte im Wesentlichen an Hand der Kriterien flächenmäßig dominierende Gruppen der Bodenausgangsgesteine (BAG), Nutzungsverteilung der BAG und Lockergestein im Untergrund. Im Projekt wurde der Schwerpunkt der Beprobung vorerst auf drei flächenmäßig dominierende Bodenausgangsgesteinsgruppen in Norddeutschland gelegt: 1. Sande und mächtige sandige Deckschichten (33 Standorte), 2. Geschiebemergel und -lehme sowie Geschiebemergel und -lehme

mit sandiger Deckschicht (10 Standorte) und 3. Löss (7 Standorte). Die beprobten Standorte wurden nach 5 Standorttypen (Kombination von BAG und Nutzung) stratifiziert: Acker, Grünland und Wald auf Sand sowie Acker auf Geschiebelehm/-mergel und auf Löss. Da die logistischen Vorbereitungen einer Standortbeprobung und die Beprobung am Standort sehr zeitintensiv sind, wurde pro Standort jeweils einmalig an 10-20 Punkten eine Sickerwasserbeprobung durchgeführt. Die Probenahmepunkte auf einer Fläche liegen mindestens 10 m auseinander um eine räumliche Abhängigkeit zwischen den Sickerwasserproben aus zu schließen. Die Sickerwasserproben wurden u.a. auf Spurenelementkonzentrationen von As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn und F untersucht.

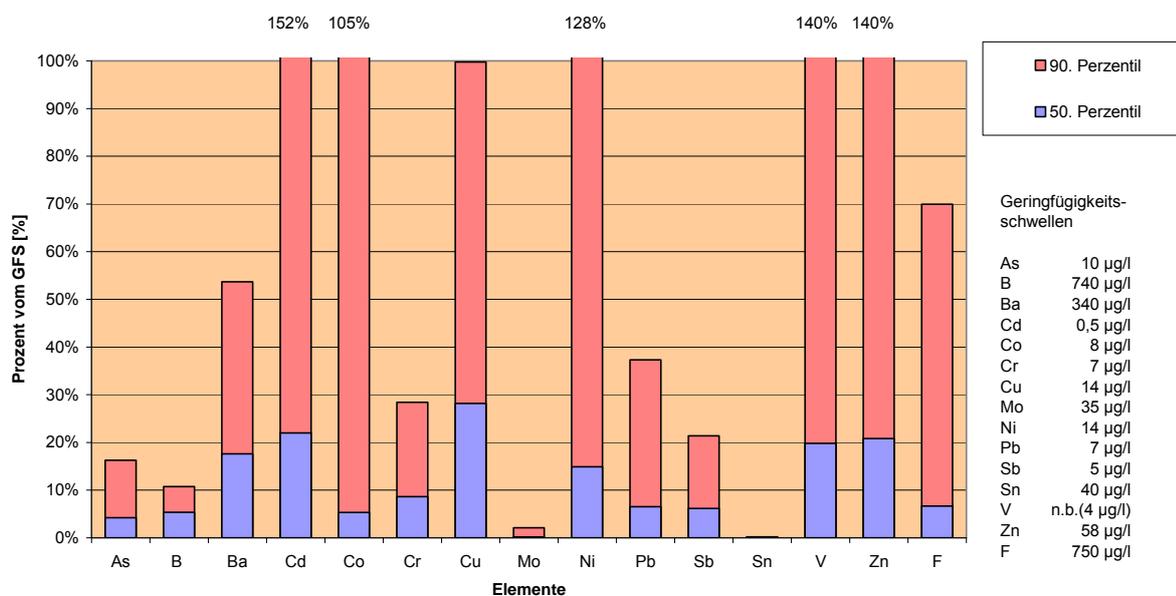


Abb. 2.: 50. und 90. Perzentil der Elementkonzentrationen in µg/l in SW-oGW von Sanden mit ackerbaulicher Nutzung in Relation zu den GFS (=100%),  $N_{\text{Standorte}}=15$ ,  $N_{\text{Proben}}=145$ .

## Ergebnisse

Für die Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundkonzentrationen muss die vorhandene Datenbasis anhand von Lagemaßen charakterisiert werden, und dazu muss die Verteilung der Stichprobe bekannt sein. Zum Testen der Verteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test mit einer Modifikation nach Lilliefors (Signifikanzniveau 0.20) angewendet. Die Analyse der Spurenelementkonzentrationen der

5 Standorttypen zeigt, dass die Verteilungen in den wenigsten Fällen einer Normal oder Log-Normalverteilung folgen. Deswegen wird bei der Charakterisierung der Daten auf die verteilungsfreie Lage- und Mittelungsmaße Median und Perzentile zurückgegriffen.

Die erhobene Datenbasis der Hintergrundkonzentrationen im SW-oGW von 46 Standorten wurde zur Bestimmung der 50. (Mediane) und 90. Perzentile der Hintergrundkonzentrationen für die in der Bun-

des-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) aufgelisteten Spurenelemente zur Beurteilung des Pfades Boden-Grundwasser sowie zusätzlich für B, Ba und V ausgewertet. Da im Zuge der Fortschreibung der BBodSchV die Prüfwerte zukünftig stärker an die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) für das Grundwasser ausgerichtet werden sollen, wurden die ausgewerteten Hintergrundkonzentrationen mit den GFS verglichen.

In Abb. 2 ist beispielhaft das Ergebnis des Standorttyps „Sandböden unter Acker“ dargestellt. Bei dem Standorttyp liegen die Mediane der Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Elemente deutlich unterhalb der von der LAWA (2004) für das Grundwasser Deutschlands festgelegten GFS.

Die Mediane bewegen sich im Bereich von <1% (Sn und Mo) bis zu 28% (Cu) der GFS. Anders sieht es bei dem 90. Perzentil der Spurenelementkonzentrationen aus. Hier sind die Elementkonzentrationen von Cd, Co, Ni, V und Zn geringfügig (z.B. Co 5%) bis deutlich (z.B. Cd 52% und Zn 40%) höher als die GFS.

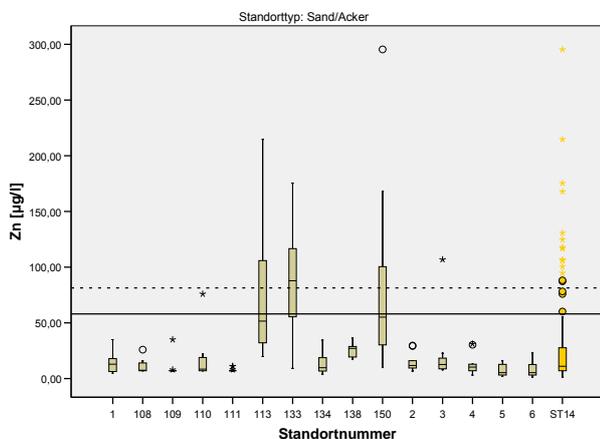


Abb. 3: Boxplots der Konzentrationen von Zn im SW-oGW am Standort in Gegenüberstellung zur Konzentrationsverteilung des Standorttyps (ST14 = Standorttyp Sand/Acker). Durchgezogene Linie: die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) von Zn = 58 µg/l; gestrichelte Linie: das 90. Perzentil des Standorttyps Sand/Acker = 81 µg/l.

Die Boxplots in Abb. 3 zeigen beispielhaft für Zn die Konzentrationsverteilungen an den 15 einzelnen Standorte und bei ST14 die Verteilung für den Standorttyp (= Daten der 15 Standorte). Die Auswertung der Zn-Konzentrationen im Sickerwasser der 15 Standorte ergibt folgendes Bild:

- Der Median am Standort liegt zwischen 5.2 bis 87.8 µg/l
- Das 90. Perzentile am Standort liegt zwischen 10.7 und 180 µg/l
- Der Median der 15 Standorte liegt bei 12.1 µg/l
- Das 90. Perzentile der 15 Standorte liegt bei 81 µg/l und damit um 40 % über die GFS von Zn.

Betrachtet man die Lagemaße 50. und 90. Perzentil in Zusammenhang mit der Konzentrationsverteilung an den einzelnen Standorten (wie z.B. in Abb. 3 für Zn), so zeigt sich, dass die Medianen kaum von einzelnen Standorten mit höheren Konzentrationen beeinflusst werden. In der Regel spiegeln die Mediane die allgemeine Tendenz der Spurenelementkonzentrationen wieder und können somit als belastbares Maß gelten. Der Vertrauensbereich der standortübergreifenden Mediane für Sand/Acker liegt im Mittel für das Signifikanzniveau von  $\alpha = 90\%$  bei  $\pm 21\%$ ; ist jedoch elementspezifisch unterschiedlich (nicht gezeigt).

Die 90. Perzentile der verschiedenen Elemente für den Standorttyp Sand/Acker hingegen werden bei mehreren Elementen (insbesondere bei Cd, Co, Ni, Pb und Zn) erheblich von den Hintergrundkonzentrationen einzelner Standorte beeinflusst, so dass sie nicht die allgemeine Tendenz widerspiegelt. Im Fall von Zn z.B. bestimmen im Wesentlichen die Werte von 3 der 15 einbezogenen Standorte das 90. Perzentil. Dieses Beispiel zeigt, wie stark einzelne Standorte das 90. Perzentil beeinflussen können und es ist deshalb zu erwarten, dass in solchen Fällen das ermittelte 90. Perzentil des Standorttyps eine höhere Unsicherheit aufweist. In einem solchen Fall müssen wesentlich mehr Standorte beprobt werden um das 90. Perzentil als flächenrepräsentativen Hintergrundwert für diesen Standorttyp abzusichern.

Zur Reduzierung der Unsicherheit der Mediane und der 90. Perzentile sind Kenntnisse über die räumliche Variabilität von Hintergrundkonzentrationen im Sickerwasser erforderlich. In Abb. 4 sind die mittleren standortinternen und standortübergreifenden relativen Interquartilabstände der Spurenelementkonzentrationen in Sickerwäs-

sern/oGW ackerbaulich genutzter Sande dargestellt. Als Maß für die Variabilität wurde aufgrund der deutlichen Abweichung der Werte von einer Normalverteilung der Interquartilabstand in Relation zum Median (IQA/Me, oder relative IQA) verwendet. Der mittlere relative IQA beträgt bei den beprobten Standorten für die meisten Elemente standortintern 50% bis 100%. Die räumliche Variabilität ist weniger standort- als elementabhängig (nicht gezeigt). Es ist also nicht so, dass immer der gleiche Standort eine höhere räumliche Variabilität der Spurenelementkonzentrationen im SW-oGW zeigt. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass im Allgemeinen die standortübergreifende räumliche Variabilität deutlich größer ist als die standortinterne, da die beeinflussenden Faktoren auf einer größeren räumlichen Entfernung auch stärker schwanken können als im Transekt einer Beprobung am Standort. Daraus lässt sich für die Ableitung der Hintergrundwerte folgern, dass es notwendig ist eine höhere Anzahl an verschiedenen Standorten zu untersuchen, da nur dadurch die standortübergreifende räumliche Variabilität der Spurenelementkonzentrationen adäquat zu erfassen ist.

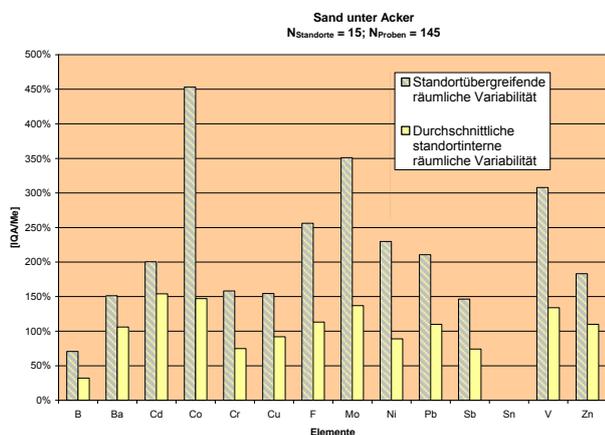


Abb. 4: Mittlere standortinterne und standortübergreifende relative Interquartilabstände der Spurenelementkonzentrationen in Sickerwässern/oGW ackerbaulich genutzter Sande (siehe Text).

## Fazit

- Die 90. Perzentile der Spurenelemente Cd, Co, Cu, Ni, V und Zn für Sand-

böden/Acker liegen zum Teil deutlich über den Geringfügigkeitsschwellen.

- Die standortübergreifende räumliche Variabilität der Spurenelementkonzentrationen ist deutlich höher als die standortinterne Variabilität.
- Der Vertrauensbereich der standortübergreifenden Mediane für Sand/Acker liegt im Mittel für das Signifikanzniveau von  $S_i = 90\%$  bei  $\pm 21\%$ ; ist jedoch element-spezifisch unterschiedlich (nicht gezeigt); für die standortübergreifenden 90. Perzentile sind die Vertrauensbereiche ( $S_i = 90\%$ ) wesentlich größer und weisen somit eine höhere Unsicherheit der 90. Perzentile auf.
- Zur besseren Absicherung der standortübergreifenden Mediane und 90. Perzentile ist eine Beprobung weiterer Standorte effektiver als eine Erhöhung der Probenzahl am Standort.

## Literatur

- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. BGBl. I: S. 1554 BGB1. I, S. 1554
- Duijnsveld, W.M., Godbersen, L., Dilling, J., Gäbler, H.E., Utermann, J., Klump, G. & Scheeder, G. (2008): Ermittlung flächenrepräsentativer Hintergrundkonzentrationen prioritärer Schadstoffe im Bodensickerwasser. Endbericht UBA-Forschungsvorhaben 204 72 264, 163 pp.
- LAWA (2004): Methodik und Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser (Stand 02.09.2003). Länderarbeitsgruppe Wasser (LAWA), Unterausschuss „Geringfügigkeitsschwellen“, 20 S. (Anhang 195 S.)

## Danksagung

Die Autoren danken dem Umweltbundesamt für die finanzielle Förderung der Untersuchungen und den MitarbeiterInnen der verschiedenen Geologischen Landesämter, Geologischen Dienste, Landesumweltämter und/oder Landesforstämter für die Unterstützung bei der Beprobung.