



Fachbeiträge des Landesumweltamtes

Heft Nr. 86

Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg

**Teilthema: Sickerwasserprognose
Weiterbildungsseminar
am 8.12.2003 in Cottbus**



**Fachbeiträge des Landesumweltamtes
Heft-Nr. 86**

**Altlastenbearbeitung
im Land Brandenburg**

Teilthema: Sickerwasserprognose

**Weiterbildungsseminar am 8.12.2003
in Cottbus**



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Tagungsbericht

über die Weiterbildungsveranstaltung am 08.12.2003 in Cottbus
„Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg, Teilthema: Sickerwasserprognose“

Veranstalter

Brandenburgische Universität Cottbus, Fakultät 4, Lehrstuhl Umweltgeologie
Landesumweltamt Brandenburg, Referat Altlasten

Der Bericht einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit den Meinungen des Herausgebers übereinstimmen.

Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Titelreihe - Heft-Nr. 86**Herausgeber:**

Landesumweltamt Brandenburg
Berliner Straße 21 - 25
14467 Potsdam
Tel.: 0331/23 23 259
Fax: 0331/29 21 08
E-mail: infoline@lua.brandenburg.de

Redaktionelle Bearbeitung der Vorträge:

LUA, Referat Altlasten, Dipl. Dipl.-Ing. André Wunsch
Tel.: 0331/2776-138 (144)
Fax.: 0331/2776-306
E-mail: andre.wuensch@lua.brandenburg.de
Internet: <http://www.brandenburg.de/lua>

Potsdam, im Januar 2004

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Inhalt

Einleitung	3
Dipl.-Geol. Udo Prabel Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Ref. 63	
Einordnung der Sickerwasserprognose in die Altlastenbearbeitung	4
Dipl. Dipl.-Ing. André Wunsch Landesumweltamt Brandenburg, Ref. A3	
Wasser in der Versickerungszone (Sickerwasser, Grundwasserneubildung, Abflussprozesse)	9
Prof. Dr. Hans-Jürgen Voigt Brandenburgische Universität Cottbus, Fakultät 4, Lehrstuhl Umweltgeologie	
Verfügbare Bodenkarten zur Ableitung von Aussagen zur Sickerwasserprognose und dem Schadstoffverhalten in den Böden Brandenburgs	17
Dr. Dieter Kühn Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Dezernat 24	
Stand der Technik von Direkt-/in-situ Probennahmeverfahren zur Ermittlung der Sickerwasserbeschaffenheit	26
Dr. Claus Nitsche Boden- und Grundwasserlabor GmbH Dresden	
Modellkonzepte zur Verlagerung des Sickerwassers als Voraussetzung zur Planung der Beprobung und Untersuchung	37
Dr. R.-J. Michel Ing. -büro Boden und Bodenwasser, Bad Freienwalde	

Einleitung

Dipl.-Geol. Udo Prabel

Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Referat 63

Sehr geehrte Fachkolleginnen und Fachkollegen, ich möchte Sie im Namen des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg und der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus zu dieser Veranstaltung begrüßen und freue mich über ihr zahlreiches Erscheinen.

Vorab weiterer Ausführungen möchte ich der Universität ein herzliches Dankeschön sagen für ihre Bereitschaft, in Abstimmung und enger Zusammenarbeit mit meinem Haus über eine Fortbildungsveranstaltungsreihe Ihnen und weiteren Interessierten Hilfestellungen und Grundsätze zur Umsetzung der Vorschriften des BBodSchG und Regelungen der BBodSchV zu vermitteln. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass nicht wenige der Rechts- und Regelungsvorschriften noch Ergänzungs-, Konkretisierungs- und Erläuterungsbedarf für einen wirksamen Vollzug in der Praxis erfordern.

Mit an erster Stelle ist hier der Bereich der Ressource Grundwasser zu nennen, der eine eminent wichtige Position in der Altlastenbearbeitung einnimmt.

In Abhängigkeit von der Schadstoffbelastung des Bodens durch umweltgefährdende Stoffe kommt es zur Veränderung der stofflichen Beschaffenheit des Sickerwassers. Um zu erkennen, ob durch vorhandene schädliche Bodenverunreinigungen oder Altlasten Grundwasser in überschaubarer Zukunft verunreinigt wird, müssen die zu erwartenden Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser nach Konzentration und Fracht bekannt sein. Diese Kenntnisse sollen entsprechend den Regelungen der BBodSchV über die Sickerwasserprognose beigebracht werden.

Der Altlastenausschuss der LABO hat auf einer seiner Sitzungen beschlossen, eine Ad-hoc-AG „Sickerwasserprognose“ mit dem Ziel ins Leben gerufen, eine Arbeitshilfe für die Sickerwasserprognose zunächst für die orientierende Untersuchung in Umsetzung der BBodSchV zu erarbeiten. Das Ergebnis wurde der UMK vorgelegt, mit Beschluss Nr. 14/2003 zugestimmt und den Ländern zur Anwendung empfohlen.

Die heutige Veranstaltung dient der ersten Information zu den Grundlagen der Sickerwasserprognose und dem Stand der fachlichen Bearbeitung im Land Brandenburg. Mit der Mischung der im Flyer ausgewiesenen Themen hoffe ich auf interessante Vorträge und wünsche jedem Teilnehmer, dass er möglichst viele verwertbare Informationen und Anregungen mitnehmen kann.

Einordnung der Sickerwasserprognose in die Altlastenbearbeitung

Dipl. Dipl.-Ing. André Wunsch
Landesumweltamt Brandenburg, Referat A3

1 Gesetzliche Grundlagen

Im BBodSchG und in der BBodSchV finden sich zahlreiche Regelungen, die für die Bearbeitung von schädlichen Bodenveränderungen, Verdachtsflächen, Altlasten und altlastverdächtigen Flächen den rechtlichen Rahmen bilden. Im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden ⇒ Grundwasser sind die natürlichen Funktionen des Bodens von Bedeutung (s. § 2 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG).

Die Begriffe schädliche Bodenveränderungen, Verdachtsflächen, Altlasten und altlastverdächtige Flächen werden in § 2 Abs. 3 bis 6 BBodSchG bestimmt.

Gesetzliche Regelungen über die Untersuchung und Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen, Verdachtsflächen, altlastverdächtigen Flächen und Altlasten finden sich in § 9 Abs. 1 und 2 BBodSchG.

2 Allgemeine Zielstellung / orientierende Untersuchungen / Detailuntersuchungen

Die BBodSchV unterscheidet in orientierende Untersuchungen und Detailuntersuchungen (s. § 2 Nr. 3 BBodSchV und § 2 Nr. 4 BBodSchV). Die in § 9 Abs. 1 BBodSchG geregelten Untersuchungen sind demnach orientierende Untersuchungen, soweit sie im Einzelfall zur Klärung der Voraussetzungen für eine Untersuchungsanordnung nach § 9 Abs. 2 Satz 1 erforderlich sind. Liegen die in § 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG genannten Voraussetzungen für eine Untersuchungsanordnung vor, zählen alle zur abschließenden Ermittlung des Sachverhalts erforderlichen weiteren Untersuchungen zur Detailuntersuchung.

Die orientierende Untersuchung (OU) dient demzufolge dazu, festzustellen, ob der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung bzw. Altlast ausgeräumt ist oder ein hinreichender Verdacht im Sinne des § 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG besteht. Im Rahmen der Untersuchung und Bewertung sind hierbei insbesondere *Art* und *Konzentration* der Schadstoffe, die Möglichkeit ihrer *Ausbreitung* in die Umwelt und ihre Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen sowie die Nutzung des Grundstücks nach § 4 Abs. 4 BBodSchG zu berücksichtigen. Erfordernis und Umfang einer orientierenden Untersuchung richten sich nach dem im Einzelfall gegebenen Kenntnisstand.

Unter Detailuntersuchungen (DU) werden vertiefende weitere Untersuchungen zur abschließenden Gefährdungsabschätzung verstanden, die insbesondere der Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen, ihrer mobilen oder mobilisierbaren Anteile, ihrer Ausbreitungsmöglichkeiten in Boden, Gewässer und Luft sowie der Möglichkeit ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen dienen.

3 Zielstellung der Sickerwasserprognose

Von altlastverdächtigen Flächen kann eine Gefahr für das Grundwasser ausgehen, wenn Schadstoffe über den Wirkungspfad Boden ⇒ Grundwasser in das Grundwasser gelangen können. In diesem Fall ist nach § 4 Abs. 3 BBodSchV eine Sickerwasserprognose durchzuführen. Der Gesetzgeber definiert die „*Sickerwasserprognose*“ in § 2 Nr. 5 BBodSchV wie folgt:

„Abschätzung der von einer Verdachtsfläche, altlastverdächtigen Fläche, schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgehenden oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser, unter Berücksichtigung von Konzentrationen und Frachten und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone.“

Eine Sickerwasserprognose kann demnach sowohl Bestandteil der orientierenden Untersuchung als auch der Detailuntersuchung sein, um eine Beurteilung der Grundwassergefährdung vornehmen zu

können. Insbesondere für orientierende Untersuchungen gilt, dass die direkt oder näherungsweise ermittelten oder im Rahmen der Sickerwasserprognose abgeschätzten Stoffkonzentrationen am Ort der Beurteilung den Prüfwerten der BBodSchV gegenüberzustellen sind (§ 4 Abs. 1 BBodSchV).

Während bei der orientierenden Untersuchung i.d.R. ein konzentrationsbezogenes verbal-argumentatives Ergebnis ausreicht, liegt der Schwerpunkt der Sickerwasserprognose im Rahmen von Detailuntersuchungen bei der quantifizierenden Abschätzung unter Einbeziehung von Konzentrationen und Frachten. Diese Abschätzung erfolgt für die derzeitige oder in überschaubarer Zukunft ausgehenden Schadstoffemission (Masse/Zeit) bezogen auf den Ort der Beurteilung.

Die gesetzliche Definition der Sickerwasserprognose erfasst nur die Stoffeinträge, welche mit dem Sickerwasser aus der ungesättigten in die gesättigte Zone transportiert werden, so dass nur einer der möglichen Eintragspfade von Schadstoffen in das Grundwasser Berücksichtigung findet. Bei einer umfassenden Betrachtung des Wirkungspfades Boden \Rightarrow Grundwasser sind aber stets alle im Einzelfall in Betracht kommenden Eintragspfade wie z.B. auch:

- Stoffeinträge über mobile Schadstoffphasen,
- Stoffeinträge über die Bodenluft,
- Stoffeinträge aus kontaminierten Bodenkörpern (Boden/Altlastenmaterial), die teilweise oder vollständig im Grundwasser liegen, zu berücksichtigen.

Allgemein sind im Rahmen der Sickerwasserprognose für die jeweils zu beurteilende Fläche *fachlich begründete* und *juristisch überprüfbare* Aussagen zu treffen, ob zu erwarten ist, dass durch einen Schadstoffeintrag in das Grundwasser die Prüfwerte der BBodSchV am Ort der Beurteilung überschritten werden oder nicht.

4 Sickerwasserprognose

4.1 Grundsätzliche fachliche Überlegungen

Unabhängig vom gewählten Verfahren sind im Rahmen einer Sickerwasserprognose grundsätzlich die folgenden Sachverhalte zu ermitteln bzw. folgende fachlichen Überlegungen anzustellen:

- Beschreibung des Schadstoffinventars,
- Ermittlung des Freisetzungsverhaltens,
- Transportbetrachtung,
- Abschätzung einer Prüfwertüberschreitung zum aktuellen Zeitpunkt,
- Abschätzung einer Prüfwertüberschreitung für die überschaubare Zukunft (eine Zukunftsbeurteilung ist bei der orientierenden Untersuchung nicht immer möglich, aber auch nicht immer notwendig).

4.2 Allgemeine Vorgehensweise bei der Sickerwasserprognose

Die Grundkonzeption für den Standardfall einer Sickerwasserprognose nach BBodSchV im Rahmen der orientierenden Untersuchung (OU) lässt sich durch folgende Teilschritte beschreiben:

- Standortcharakterisierung (Informations- und Datensichtung, ggf. Datenergänzung),
- Konzepterstellung und Ermittlung des noch notwendigen Untersuchungsbedarfs,
- Durchführung von Untersuchungen,
- Verbal-argumentative Abschätzung, ob am Ort der Beurteilung eine Prüfwertüberschreitung derzeit vorliegt oder zukünftig zu erwarten ist.

Die Grundkonzeption für den Standardfall einer Sickerwasserprognose im Rahmen der Detailuntersuchung (DU) baut i.d.R. auf dem Ergebnis der orientierenden Untersuchung auf und lässt sich durch folgende Teilschritte beschreiben:

- Standortcharakterisierung (Informations- und Datensichtung, ggf. Datenergänzung und Evaluierung des vorliegenden Kenntnisstandes),
- Konzepterstellung und Ermittlung des noch notwendigen Untersuchungsbedarfs,

- Durchführung von Untersuchungen,
- Durchführung der Sickerwasserprognose:
 - Standortbeschreibung in parametrisierter Form,
 - Beschreibung der Schadstoffquelle (Schadstoffinventar und -freisetzung; Charakterisierung der räumliche Verteilung der Schadstoffe und die raum-zeitliche Entwicklung der Schadstoff-freisetzung)
 - Transportbetrachtung (Quantifizierende Beschreibung der Veränderungen, die Schadstoffe bei der Freisetzung in Konzentration und Masse beim Transport erfahren.)
 - raum-zeitliche Integration der Ergebnisse aus der Beschreibung der Schadstoffquelle und Transportbetrachtung
- Abschätzung der Eintragsentwicklung ob am Ort der Beurteilung eine Prüfwertüberschreitung derzeit vorliegt oder zukünftig zu erwarten ist.

Die für den Stofftransport ins Grundwasser relevanten Vorgänge am zu beurteilenden Standort sind hinreichend zu beschreiben/begründen. Erfordernis und Umfang einer Untersuchung richten sich nach dem im Einzelfall gegebenen Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Entscheidung. Es kann folglich kein Standardprogramm für den Umfang der notwendigen Untersuchungen geben.

4.3 Standortcharakterisierung

Vor der Durchführung von Untersuchungen zur Sickerwasserprognose werden zuerst alle zum Standort verfügbaren Daten und Erkenntnisse aus der historischen Erkundung oder aus sonstigen Unterlagen ausgewertet. Hierzu sind auch aus regionalen Kartenwerken die bodenkundlichen, geologischen und hydrogeologischen Daten für die Fläche zusammenzustellen (z.B. Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg). Weiterhin sind Aussagen über das vermutete Schadstoffinventar zu treffen.

Auf Grundlage dieser Informationen ist eine Standortcharakterisierung zu erstellen und eine erste Einschätzung über mögliche Schadstoffausbreitungen ins Grundwasser am Standort zu treffen.

Über Analogiebetrachtungen können im Rahmen der OU Ergebnisse von Standorten mit vergleichbaren bodenkundlich-geologischen Verhältnissen und Schadstoffspektren verwendet werden. Im Einzelfall kann hiermit schon ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast begründet werden. Die zuständige Behörde kann dann die notwendigen Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung anordnen.

4.4 Konzepterstellung

I.d.R. sind für eine Sickerwasserprognose Untersuchungen erforderlich, um Informationslücken zu schließen. Auf der Basis der Standortcharakterisierung ist ein standortspezifisches, gestuftes Untersuchungskonzept zu erstellen, in dem die erforderlichen Maßnahmen beschrieben und begründet sind.

4.5 Verfahrensauswahl

Allgemeine Regelungen über die Durchführung einer Sickerwasserprognose enthält Anhang 1 Nr. 3.3 BBodSchV.

Eine Sickerwasserprognose vereinfacht sich im Rahmen der OU, sofern unter günstigen Umständen die repräsentative Beprobung von Sickerwasser am Ort der Beurteilung möglich ist und auf diesem Weg der aktuelle Stoffeintrag in das Grundwasser direkt ermittelt werden kann. Für die Prognose des zukünftigen Stoffeintrags sind i.d.R. Materialuntersuchungen erforderlich.

Ein bestimmtes Verfahren zur Abschätzung der zu erwartenden Stoffkonzentrationen und -frachten im Sickerwasser wird vom Gesetzgeber nicht explizit vorgeschrieben. Es erfolgt lediglich der Hinweis, dass es sich um praxiserprobte Verfahren handeln sollte. Entsprechend den weiteren Ausführungen in Anhang 1 Nr. 3.3 BBodSchV kann dies auf der Grundlage von:

- Grundwasseruntersuchungen, durch Rückschlüsse oder Rückrechnungen,
- In-situ-Untersuchungen oder
- Materialuntersuchungen,
- auch unter Anwendung von Stofftransportmodellen erfolgen.

Einen Überblick zu den Aussagemöglichkeiten/Grenzen o.g. Verfahren hinsichtlich der Möglichkeit einer „Verdachtsbestätigung“ bzw. eines „Verdachtsausschlusses“ im Rahmen der orientierenden Untersuchung gibt Abbildung 1.



Abb. 1: Allgemeine Vorgehensweise zur Verdachtsbestätigung/-ausschluss auf der Bearbeitungsstufe einer orientierenden Untersuchung

Die Sickerwasserprognose kann verbal-argumentativ ggf. unter Zuhilfenahme von Berechnungsmethoden erfolgen. Im Rahmen von orientierenden Untersuchungen ist der Einsatz von Stofftransportmodellen i.d.R. nicht zielführend, da die benötigten standortspezifischen Parameter meist noch nicht vorliegen.

Die genannten Verfahren sind nicht nur als Alternativen zu sehen. Je nach Standort- und Schadstoff-situation kann auch eine Kombination mehrerer Verfahren sinnvoll sein.

5 Sickerwasserbeprobung und in situ-Untersuchungen

Die Sickerwasserbeprobung kann entweder direkt am Ort der Beurteilung erfolgen oder in der ungesättigten Zone im Bereich unterhalb der Schadstoffbelastung.

Ist unter günstigen Umständen eine repräsentative Beprobung von Sickerwasser am Ort der Beurteilung möglich, können die Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser unmittelbar mit den Prüfwerten der BBodSchV verglichen werden.

Eine gutachterliche Beurteilung der Standortgegebenheiten ist aber trotzdem immer notwendig!

Die Gewinnung von Sickerwasser kann auch in der ungesättigten Zone oberhalb des Ortes der Beurteilung erfolgen. Für diesen Fall ist dann eine Abschätzung unter Berücksichtigung von Abbau und Rückhalt für den Ort der Beurteilung notwendig. Die Abschätzung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung kann nach Anhang 1 Nr. 3.3 der BBodSchV u.a. auf der Grundlage von in situ-Untersuchungen durchgeführt werden.

In der BBodSchV findet sich keine Konkretisierung der in Frage kommenden Untersuchungsmethoden. Unter dem Begriff "in situ-Untersuchungen" werden im Allgemeinen Bodenluft-

untersuchungen und Drucksondierungen verstanden. Diese im Rahmen der Sickerwasserprognose anwendbaren Untersuchungsmethoden ermöglichen allerdings keine direkten Aussagen über die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser. In situ-Untersuchungen haben relativen Charakter. Nur für den Fall, dass an einem Messobjekt für alle Probennahmen identische Bedingungen vorliegen, können die Messergebnisse untereinander verglichen werden. Generell ist zu beachten, dass die Menge und Beschaffenheit des Sickerwassers jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt und kleinräumig stark variieren kann. Ergebnisse aus in situ-Untersuchungen sind deswegen nicht für einen direkten Vergleich mit den Prüfwerten der BBodSchV geeignet. Sie können aber einen wichtigen Beitrag bei einer verbal-argumentativen Abschätzung und bei der Standorterkundung leisten.

6 Forschungsvorhaben der Länder zur Thematik (Redaktionsstand 12/2002)

TITEL	BUNDESLAND	LAUFZEIT
Beurteilung von in-situ Beprobungen und Elutionsverfahren im Rahmen des BBodSchG	Rheinland-Pfalz	2002 – 2004
Saugkerzen	Bayern, Baden-Württemberg, Hessen	2002 – 2003
Sensitivitätsanalyse bewertungsrelevanter Parameter in Simulationsmodellen zur Sickerwasserprognose	Sachsen	
Auswertung und Durchführung von Sickerwasser-, Eluat- und Bodenuntersuchungen zur Ableitung von vorläufigen Prüfwerten zur Emissionsabschätzung bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser	Bayern	2000 – 2003
Durchführung von Säulenversuchen, Elutionen, Lysimeterversuchen und Stofftransportmodellierungen im Hinblick auf die Verfahrensoptimierung zur Sickerwasserprognose	Bayern	2000 – 2003
Methodenentwicklung von Säulenversuchen zur Untersuchung und Bewertung der Sickerwasserbeschaffenheit von Altlastverdachtsflächen (Schwerpunkt anorganische Stoffe)	Bayern	5/2002 – 4/2005
Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der Bodenschutzgesetze, Bestimmung von Hintergrundwerten mit den Methoden der BBodSchV	Bayern	1999 – 2004
Untersuchung der zeitlichen Quellstärkeentwicklung in Großlysimetern	Nordrhein-Westfalen	2001 – 2005
Innovative Direkt / in-situ Probennahmeverfahren für Grund-, Sickerwasser, Schadstoffphase und Bodenluft im Rahmen der Altlastenbearbeitung	Brandenburg	2002 – 2003

7 Literaturverzeichnis

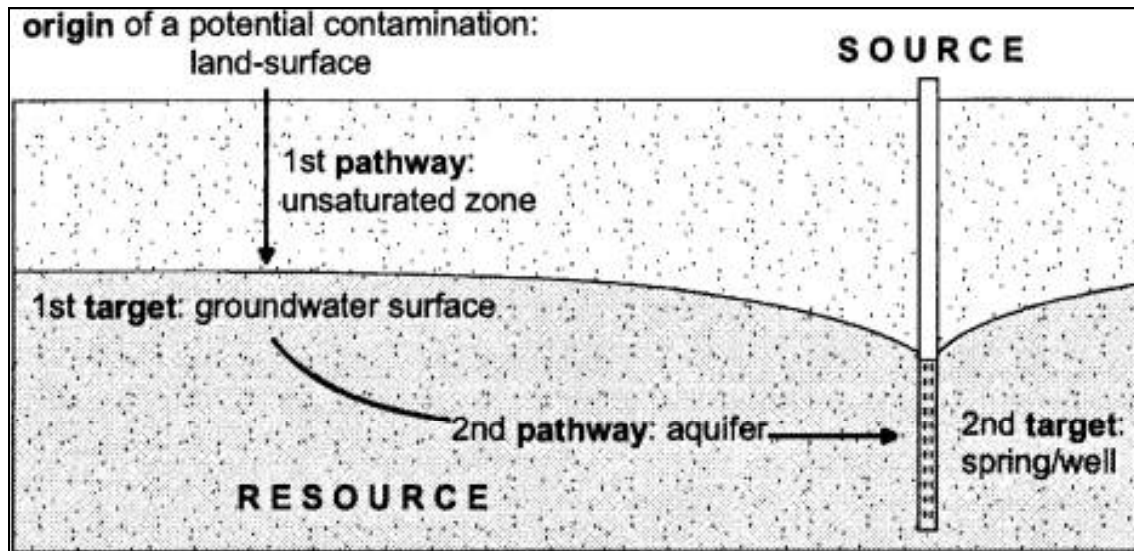
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: Merkblatt Nr. 3.8/1: „Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserverunreinigungen, Wirkungspfad Boden-Grundwasser“
Download: <http://www.bayern.de/lfw/service/produkte/veroeffentlichungen/>
- LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG: Fachinformationen zur Altlastenbearbeitung - Nr. 1: LABO Arbeitshilfe „Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen“
Download: http://www.brandenburg.de/land/mlur/oe_a/b_luapub.htm#Abfall
- LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN: Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 17: Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung „Boden-Grundwasser“
Download: <http://www.lua.nrw.de/>
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE: Handbuch Altlasten „Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden -Grundwasser“, Band 3, Teil 3 (Druckversion)

Wasser in der Versickerungszone - eine Übersicht -

Prof. Dr. Hans-Jürgen Voigt
Brandenburgische Universität Cottbus, Fakultät 4, Lehrstuhl Umweltgeologie

Im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) bzw. der zugehörigen Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) ist festgelegt, dass das Beurteilungskriterium für die Gefährdung von Grundwasserressourcen die Sickerwasserkonzentration an der Stelle ist, an der das Sickerwasser das Grundwasser erreicht („Ort der Beurteilung“).

Abb. 1: Origin pathway target



Hierbei wird der Wirkungspfad: Regenwasser → Durchsickerung von kontaminiertem Material → Lösen von Schadstoffen im Sickerwasser → Migration des schadstoffbeladenen Sickerwassers in der nicht bzw. gering kontaminierten Aerationzone → Eintrag ins Grundwasser betrachtet. Im BBodSchG und in der BBodSchV ist die grundlegende Forderung enthalten, die natürlichen Strömungsbedingungen zu berücksichtigen.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Komplexität der Abflussprozesse in der Versickerungszone, die in allgemeiner Form durch Wasserhaushaltsbilanzgleichung beschrieben werden können:

$$P_N = P_{eff} = R + ET$$

$$\text{bzw. } R_U = GWN = P_N - ET - R_D$$

Abbildung 3 verdeutlicht gleichzeitig die unterschiedlichen Bedingungen in Neubildungs- und Zehrgebieten, wobei in letzteren die ganzjährige Verdunstung gegenüber der Neubildung überwiegt. Damit verbunden ergibt sich u.a. im Gegensatz zur Grundwasserzone die Besonderheit, dass die Bodenwasserströmung diskontinuierlich und teilweise in unterschiedliche Richtung verläuft.

Die Ausbreitung des Wassers in der Versickerungszone erfolgt in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz jahreszeitlich differenziert sowohl in Neubildungs- als auch in Zehrgebieten.

Abbildung 4 zeigt den typischen innerjährlichen Gang der klimatischen Wasserbilanz ($P_N - ET$) für die Verhältnisse in Norddeutschland. Für Brandenburg ist zu beachten, dass aufgrund des geringeren Niederschlagsangebotes die Auffüllphase einen wesentlich längeren Zeitraum einnimmt. Teilweise sind in Trockenjahren in Brandenburg auch negative ganzjährige klimatische Wasserbilanzen zu verzeichnen.

Abb. 2: Abflussprozesse

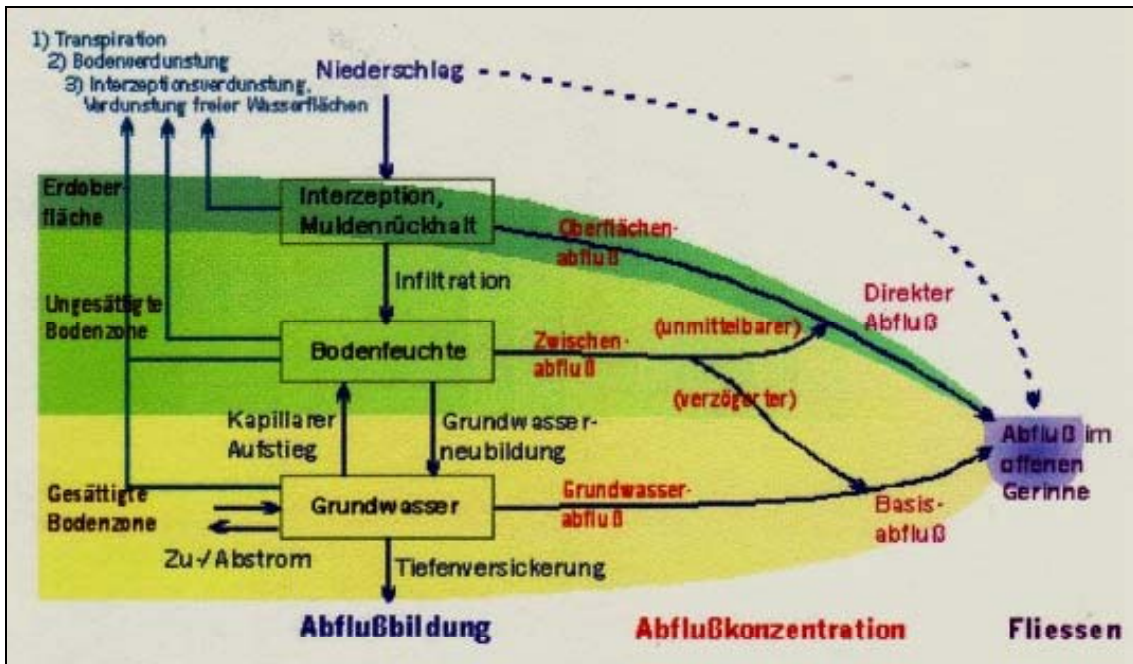
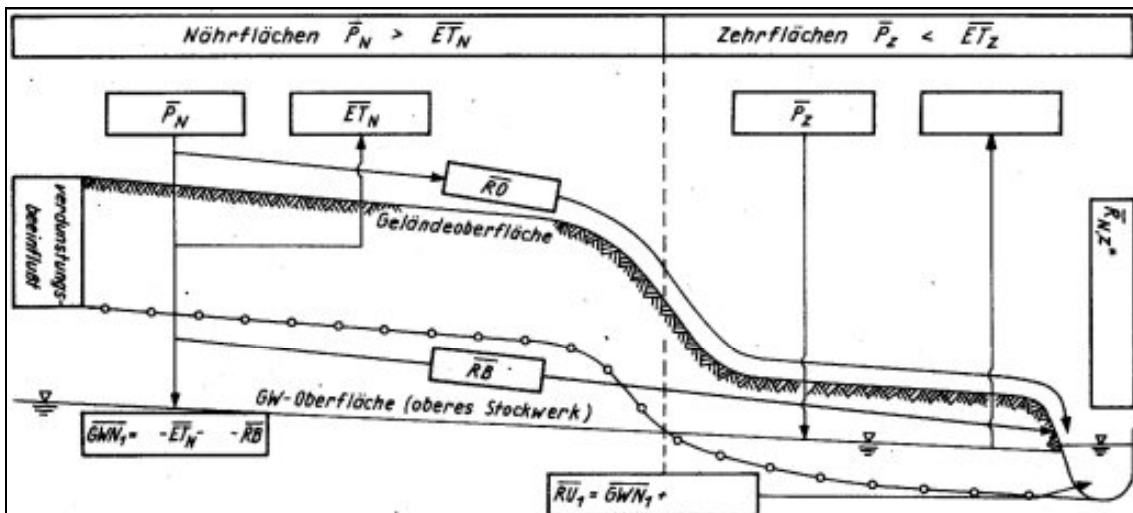
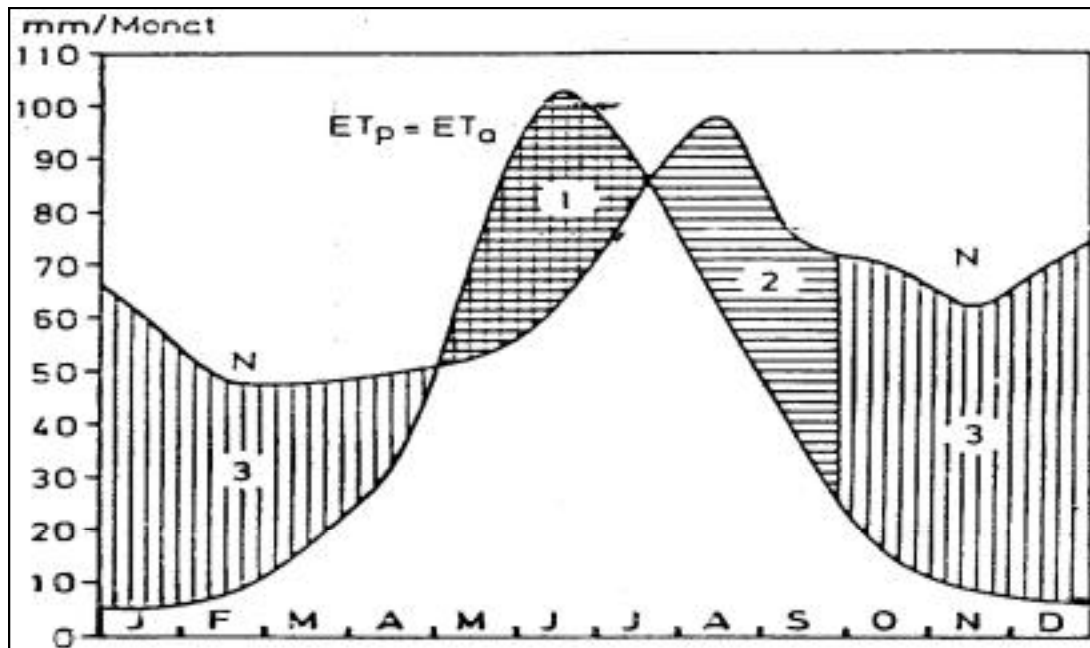


Abb. 3: Schema der Wasserhaushaltsbilanzelemente (nach GLUGLA, GOLF 1988)



- $P_{\text{eff}} = P_N$ effektiver Niederschlag (Gebietsniederschlag abzüglich Interzeption)
- ET Evapotranspiration
- R Abfluss
- R_O Oberflächenwasserabfluss
- R_B Zwischenabfluss
- R_{BO} oberflächenwasserwirksamer Zwischenabfluss
- R_{BU} grundwasserwirksamer Zwischenabfluss
- R_D Direktabfluss ($R_D = R_O + R_{BO}$)
- R_I Sickerwasserrate, Abfluss aus der Bodenzone
- $R_U = GWN$ unterirdischer Abfluss, Grundwasserneubildung

Abb. 4: Klimatische Wasserbilanz (nach SCHNEIDER)



Entsprechend des sehr unterschiedlichen Niederschlagsangebotes und der differenzierten Verdunstungsmengen kommt es zur Entwicklung sehr unterschiedlicher Sickerwasserraten in verschiedenen Jahreszeiten, wie Tabelle 1 verdeutlicht.

Tab. 1: Sickerwasserraten

Quartal	Parameter		Substrat			
			Sand	Lehm	Löß	Ton
I	S/N_{Quart}	%	69	74	62	49
	S/S_{Jahr}	%	39	51	36	35
II	S/N_{Quart}	%	31	22	22	24
	S/S_{Jahr}	%	25	24	32	41
III	S/N_{Quart}	%	13	3	2	3
	S/S_{Jahr}	%	9	3	2	5
IV	S/N_{Quart}	%	37	15	27	12
	S/S_{Jahr}	%	27	22	30	19
I...IV	S_{Jahr}	mm	202	128	143	88
	$S_{\text{Jahr}}/N_{\text{Jahr}}$	%	38	25	23	18

$N_{\text{Jahr}} = 650\text{mm}$ Weise 1978

Unter **Sickerwasserrate** wird dabei der Teil des effektiven Niederschlages verstanden, der die durchwurzelte Bodenzone verlässt.

$$R_I = P_N - R_O - R_{BOB}$$

wobei R_{BOB} den Zwischenabfluss innerhalb der Bodenschichten darstellt. Zur Ermittlung der Sickerwasserrate hat sich im norddeutschen Lockergesteinsgebiet die Methode nach RENGER/WESSOLEK bewährt.

Die Kenntnis der Höhe der Grundwasserneubildung ist insbesondere für eine langfristige und auf Nachhaltigkeit angelegte Nutzung der Grundwasserressourcen wichtig. Darüber hinaus ist sie ein wichtiger Eingangsparameter für die Abschätzung eines potenziellen Transportes von Schadstoffen aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser sowie für die Ableitung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.

Unter **Grundwasserneubildung** wird der Vorgang (und die Menge) verstanden, bei dem durch Infiltration und Versickerung von Niederschlägen Grundwasser entsteht. Die Höhe der Grundwasserneubildung unterscheidet sich von der Höhe der Infiltrationsrate an der Bodenoberfläche ebenso wie von der Sickerwasserrate:

$$GWN = R_U = R_I - R_{BO}$$

Die Berücksichtigung des Zwischenabflusses ist die Schwachstelle aller gegenwärtig angewandten Verfahren zur Bestimmung der Grundwasserneubildung, die beispielhaft in Tabelle 2 zusammengestellt wurden. GLULA/KÖNIG haben mit dem Programm JAGA auch ein Verfahren entwickelt, das die Bestimmung der jahreszeitlich differenzierten Grundwasserneubildung ermöglicht. Dieses Programm wurde inzwischen durch WASY für die GIS-Anwendung weiterentwickelt.

Tab. 2: Grundwasserneubildung – Methoden

	Dörhöfer, Josopait 1988	Gabriel, Ziegler, Jacobs 1989 GEOFEM	Glugla, Fürth 1997 ABIMO	Kunkel, Wendland 1996 GROWA	GD NRW (2002) KLIMA/GLADIS
Einsatzbereich	Locker- und Festgestein	Festgestein	Lockergestein	Locker- und Festgestein	Lockergestein
Eingangsdaten	N _{Jahr} Bodenart Vegetation Flurabstand Reliefenergie	N _{Jahr} Gewässerszahl GZ hydrologische Gesteinseinheit	N _{Jahr} ET _{pot} nach Penman Effektivitätsparameter n Landnutzung Flurabstand nFK	N _{Sommer} N _{Winter} ET _{pot} W _{pf} Landnutzung Versiegelung Hangneigung Flurabstand hydrogeologische Gesteinseinheit	N _{hTagr} ET _{Tag} W _{pf} k _i / k _u Landnutzung Staunässe Flurabstand Hangneigung
Anwendungsgebiete	Niedersachsen, alte Bundesländer	Festgesteinsgebiete der ehem. DDR, Thüringen	Lockergesteinsgebiete der ehem. DDR, Sachsen-Anhalt	deutscher Teil des Elbeinzugsgebiets, Niedersachsen	Nordrhein-Westfalen
Quellen	Wendland 1992; Großmann 1997	Jordan, Weber 1995	Glugla, Eyrich, König 1986; ATV-DVWK 2002	Dörhöfer et al. 2001; Kunkel, Wendland 2002	DIN 19687

Wendland 2002

Abbildung 5 zeigt vier typische Abflusssituationen im Stadtgebiet von Berlin, die die Kompliziertheit der Erfassung des Zwischenabflusses und gleichzeitig die Notwendigkeit detaillierter Standorterkundungen verdeutlichen soll.

Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, ist die detaillierte Kenntnis des lithologischen Aufbaus der Versickerungszone eine unabdingbare Voraussetzung für eine standortkonkrete Sickerwasserprognose.

Aus dem bisher Dargelegten folgt weiterhin, dass sich die Versickerungszone bedingt in drei Teilbereiche unterteilen lässt:

- die verdunstungsbeeinflusste durchwurzelte Bodenzone, die in etwa bis in eine Tiefe von 2 Meter reicht,
- der eigentliche Sickerwasserbereich darunter,
- der Kapillarsaum über der Grundwasseroberfläche (der sich in einen offenen und einen geschlossenen Bereich gliedert) (Abb. 6).

Abbildung 5 a

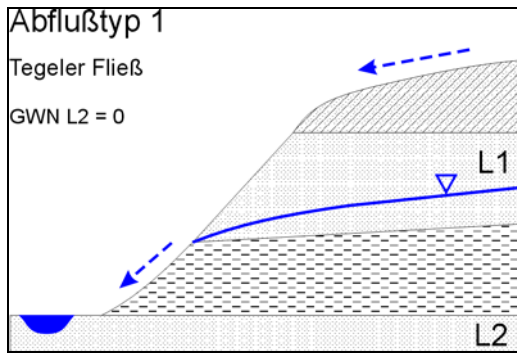


Abbildung 5 b

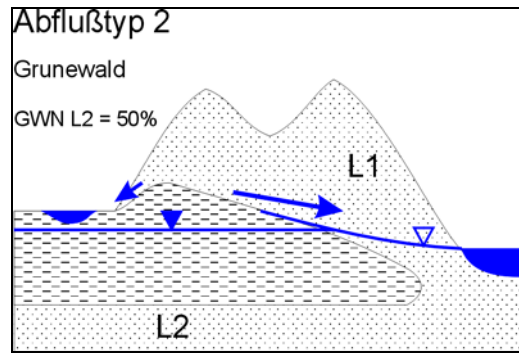


Abbildung 5 c

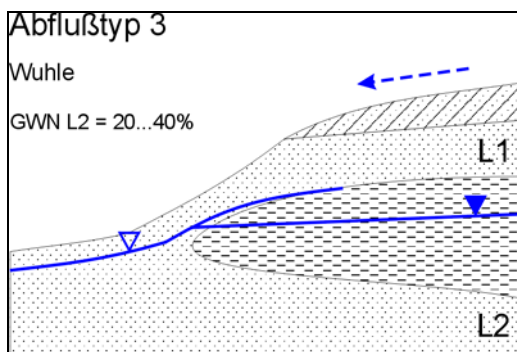
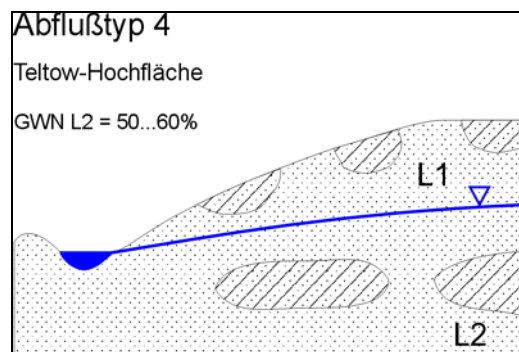


Abbildung 5 d



Man unterscheidet das Wasser in der Versickerungszone in fest (Adsorptions-) und lose gebundenes (Adhäsions- und Porenwinkelwasser) sowie frei bewegliches Bodenwasser. Die Bindung der Wassermoleküle erfolgt durch elektromolekulare Kraftwirkung der meist negativ geladenen Mineralteilchen des Bodensubstrats (Abb. 7).

Wasserhaltevermögen, kapillare Steighöhe, Wasserleitvermögen etc. werden neben den geochemischen Eigenschaften des mineralisch-organischen Gesteinskomplexes maßgeblich von seiner Korngrößenverteilung bestimmt. Das Saugspannungs-Sättigungsverhalten verschiedener Erdstoffgemische zeichnet sich deshalb durch unterschiedliche Saugspannungs-Sättigungs-Verteilungsfunktionen (SSV-) oder pF-Kurven aus (Abb. 8).

Zu beachten ist, dass die Saugspannungs-Sättigungs-Verteilungsfunktion einen Hystereseeffekt aufweist, d.h. eine von der Prozessrichtung abhängige Systemzustandsfunktion darstellt (Abb. 9a). Die Hysterese der SSV-Kurve resultiert daraus, dass

- die Entwässerungsfunktion (Drainage) von den engen Porenkanälen geprägt wird, da erst die darin enthaltenen Menisken aufgebrochen werden müssen, bevor der darunter befindliche größere Porenraum entwässert werden kann
- die Bewässerungsfunktion (Imbibition) von den Porenweitstellen geprägt wird, da erst diese kapillar aktiv werden müssen, bevor das Bodenwasser die Engstellen der Porenräume erreichen kann.

In Abbildung 9b wurde dies in einem schematisierten Porenkanal dargestellt.

Der am Ende der Bewässerungskurve (Imbibition) nicht mehr mit Bodenwasser gefüllte Porenraum bildet den Restluftanteil, der nur bei z.B. Überstauen des Probenvolumenelementes erneut mit Bodenwasser gefüllt werden kann.

Die Bewertung des Feuchtetransports in der Versickerungszone erfordert somit eine vorherige laborative Bestimmung dieser Systemzustandsfunktionen für alle lithologisch unterschiedlichen Schichten.

Abb. 6: Unterirdisches Wasser

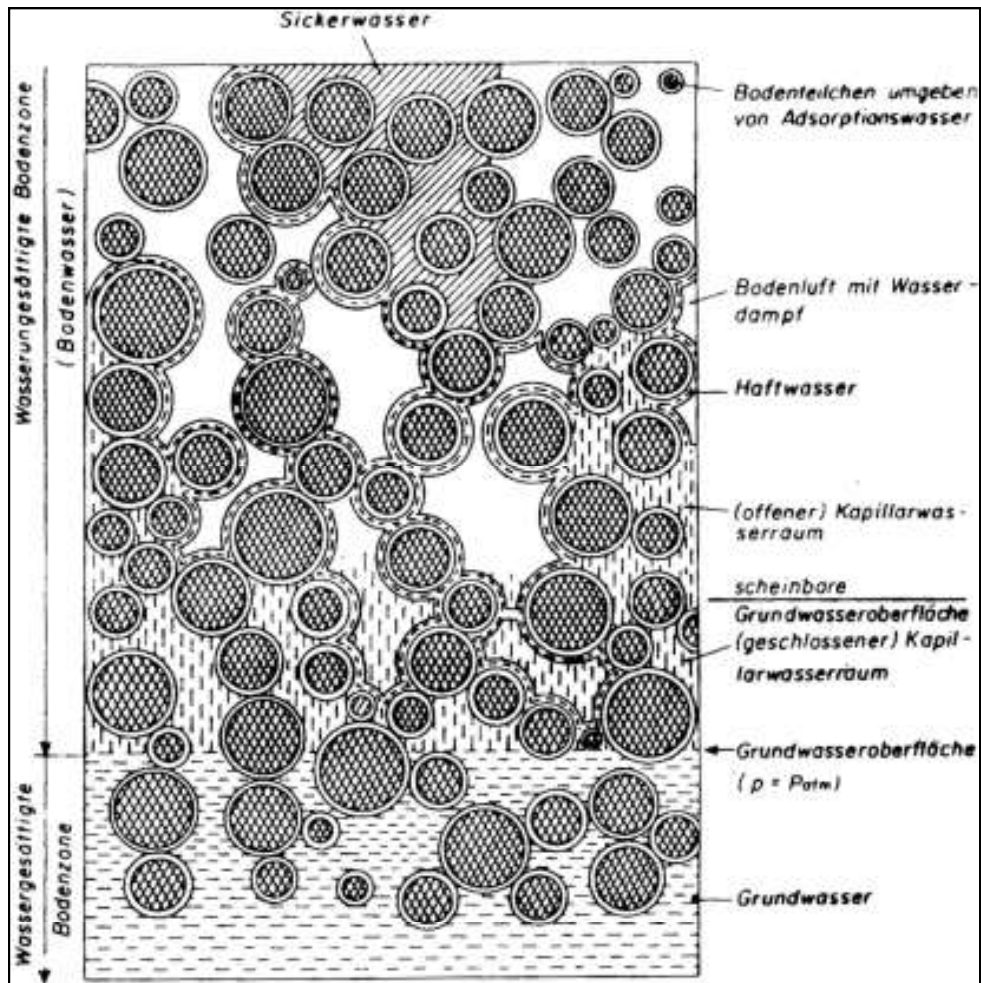


Abb. 7: Wechselwirkung, Teilchen - Wasser

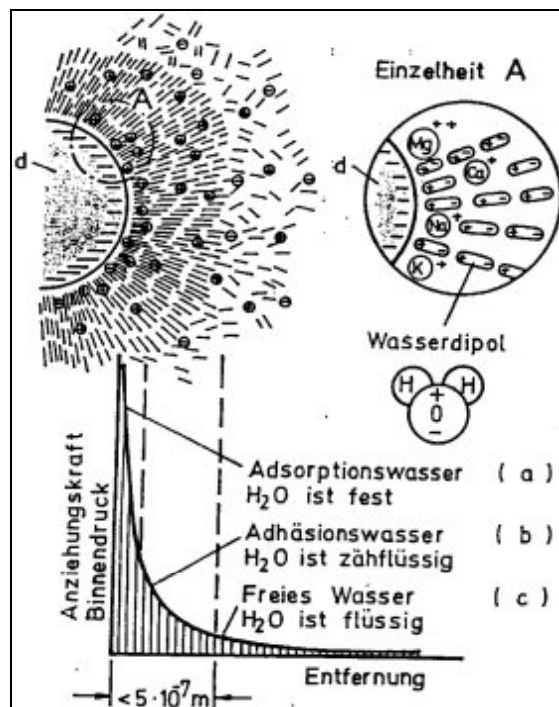


Abb. 8: Saugspannungs-Sättigungs-Verteilungsfunktionen

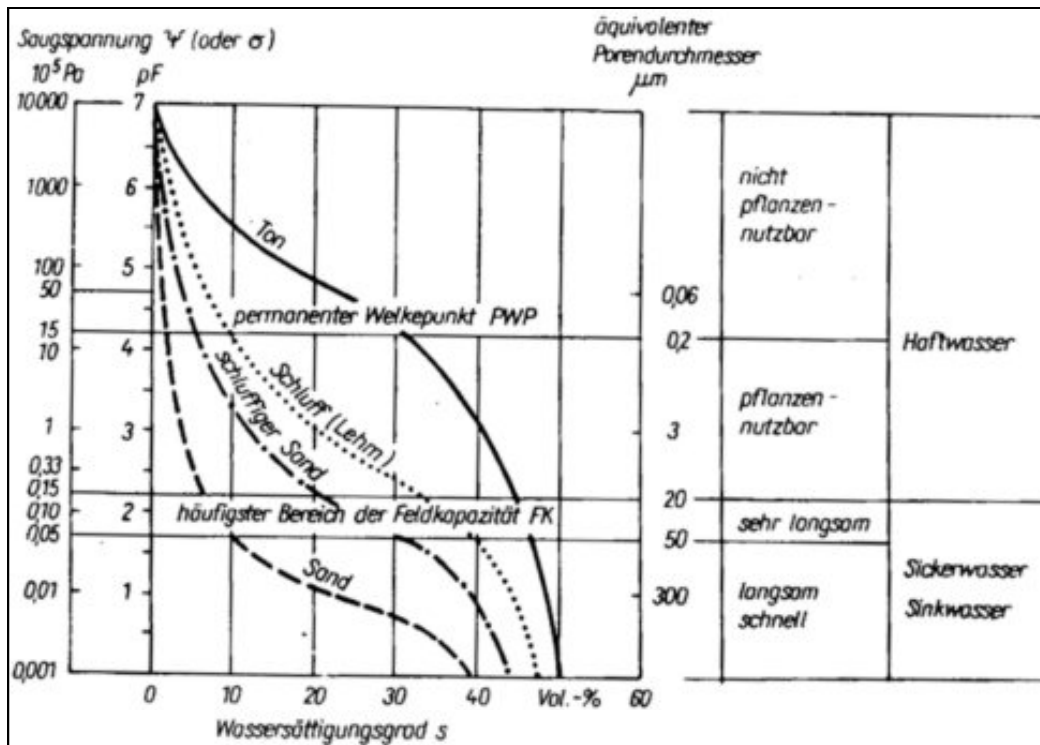


Abb. 9a: Wassergehalt / Saugspannung

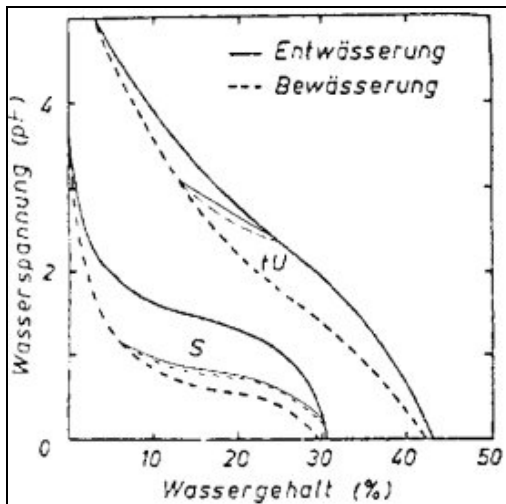
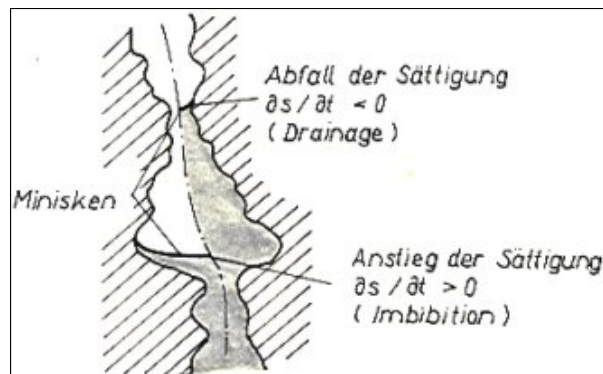


Abb. 9b: Porenkanal



Aus den Systemzustandsfunktionen können u.a. folgende Kennwerte und Parameter ermittelt werden:

- Feldkapazität (FK),
- nutzbare Feldkapazität (nFK),
- Porengrößenverteilung,
- Parameter nach VAN GENUCHTEN/LUCKNER zur geschlossenen Darstellung der SSV (Basisparameter für die Modellierung der Bodenwasserbewegung in der Versickerungszone (Aerationszone)),
- hydraulischer Durchlässigkeitskoeffizient als Funktion des Bodenwassergehaltes $k(\theta)$ (Basisparameter für die Modellierung der Bodenwasserbewegung in der Aerationszone) und

- kapillarer Speicherkoeffizient als Funktion des Bodenwassergehaltes $c(\theta)$ (Basisparameter für die Modellierung der Bodenwasserbewegung in der Aerationzone).

Die Prognose des mit der Wasserbewegung in der Aerationzone verkoppelten Stofftransportes (anorganische/organische Wasserinhaltsstoffe bzw. Kontaminanten), wie z.B. im Bereich der Sickerwasserprognose, erfordert des weiteren die Beachtung folgender Randbedingungen, die sowohl den unterirdischen Abfluss als auch die hydrogeochemischen Prozesse in der Versickerungszone bestimmen:

- Die Versickerungszone stellt ein dynamisches Mehrphasensystem aus Sickerwasser, Bodenluft, organischer Substanz und den Bodensedimenten dar.
- Der Versickerungsprozess wird im Vergleich zum Grundwasser durch wesentlich geringere Sickerwassergeschwindigkeiten, dafür aber entsprechend längere Kontakt- bzw. Reaktionszeiten zwischen den Phasen Sediment, Sickerwasser, Bodenluft und organische Substanzen geprägt. Für die Verteilung und das Migrationsverhalten der Schadstoffe dominieren folglich Gleichgewichtsreaktionen.
- Durch den Wechsel zwischen Transport und Stagnation des infiltrierenden Regenwassers sind in Abhängigkeit von der hydraulischen Durchlässigkeit des zu betrachtenden Bodenbereiches wechselnde aerobe und anaerobe Milieubedingungen zu berücksichtigen.

Verfügbare Bodenkarten zur Ableitung von Aussagen zur Sickerwasserprognose und dem Schadstoffverhalten in den Böden Brandenburgs

Dr. Dieter Kühn, Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Dezernat 24

1 Zielstellung

Will man eine Prognose zum Sickerwasserverhalten von Böden oder deren Verhalten gegenüber Schadstoffen bewerten, benötigt man möglichst differenzierte Bodenkarten. Gerade im Bereich des Solums oder in der kartiertechnischen Erkundungstiefe (i.d.R. bis 2 m unter Geländeoberfläche) spielen sich für diese Fragestellungen die entscheidenden Prozesse ab. Die Speicherung von Wasser oder Schadstoffen spielt ebenso eine Rolle wie die Frage der Aufnahme der Pflanzen oder der Austrag ins Grundwasser. Verschiedene Methoden beziehen bei allen Wechselwirkungen besonders den Boden ein. Deshalb sollen die verschiedenen Qualitäten von zugänglichen Bodenkarten im Land Brandenburg charakterisiert werden.

Die Tabelle 1 zeigt eine Übersicht von Kartenunterlagen, die in die Recherche zu bodenkundlichen Inhalten für neuere bodengeologische Karten in Brandenburg genutzt werden.

Tab. 1: Wesentliche Kartenwerke zur Ableitung bodenkundlicher Flächenaussagen

Kartenwerk	ableitbare Inhalte
Topographische Karte 1:25 000 und andere Maßstäbe	Nutzungstypen, Versiegelungsgrade, Reliefinterpretation z.B. für Verteilung von Grundwasserböden, Auftrags- und Abtragsböden usw.
Geologische Spezialkarte 1:25 000 und andere Maßstäbe	Substrataufbau
Geologische Übersichtskarten 1:200 000 und 1:300 000	Substrataufbau
Bodenschätzungskarten 1:25 000, z.T. 1:10 000	präzisierte Verteilung des Substrataufbaus, gewonnen aus anderen Unterlagen und Geländebefunden; z.T. Verbreitung des Grundwassereinflusses
digitales Moorarchiv der Humboldt-Universität (HUB)	Torfmächtigkeiten und Unterlagerungen
Manuskriptkarten Substrattypen Moore 1:25 000 (HUB)	Torfmächtigkeiten und Unterlagerungen
Bodengeologische Übersichtskarte der DDR 1:100 000 (2 Blätter)	abstrakte Bodenformen
Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung 1:100 000	Bodenformeninventare nach TGL 24 300
Luftbilder der topographischen Laufendhaltungsüberfliegung (i. w. für Siedlungsareale oder Truppenübungsplätze)	Versiegelungsgrade, Nutzungs- und Versiegelungstypen für die Interpretation der anthropogenen Bodenüberprägung
Bodengesellschaftskarte von Berlin 1:50 000	Bodentypen und Nutzungstypen, z.T. Substrathinweise
Luftbildkarte von Berlin 1:50 000	Versiegelungsgrade, Nutzungs- und Versiegelungstypen für die Interpretation der anthropogenen Bodenüberprägung
Karte des Versiegelungsgrades von Berlin 1:50 000	versiegelte Flächen und ihre Anteile
Arbeitskarten anthropogener Bodenformengesellschaften der Tagebaubereiche 1:25 000 (C & E GmbH)	Bodenformeninventare in Bergbaufolgelandchaften

2 Karten vor 1990

Im Folgenden werden wesentliche Kartengrundlagen aus der Tabelle 1 vorgestellt, die für eine großflächige Auswertung bislang von Bedeutung waren. Dazu zählen die Bodenschätzungskarten, die von der Staatlichen Geologischen Kommission bearbeitet wurden, nicht aber die Originalkarten wegen ihrer schweren Zugänglichkeit und der unzureichenden Topographie. Ferner gehören dazu die

Forstliche Standortkartierung und die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung (weiter als MMK bezeichnet). Wegen der geringen Flächendeckung oder Bedeutung soll hier auf weitere spezielle Kartenwerke nicht eingegangen werden (s. Kippbodenkartierung, Moorkartierung, oder spezielle Untersuchungen wie Meliorationsstandortuntersuchungen). Sie können jedoch lokal bedeutsam sein.

2.1 Bodenschätzung

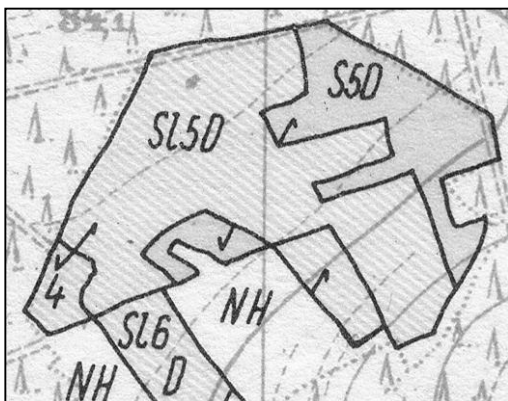
Die Bodenschätzung wurde für steuerliche Zwecke in einem Zeitraum von Mitte der 30er Jahre bis Anfang der 50er Jahre durchgeführt, um eine möglichst objektive Bewertungsgrundlage für die Flächenbesteuerung zu haben. Dazu wurden die Böden im 50 x 50m-Raster bis 1 m unter Gelände abgebohrt und einheitliche Flächen, so genannte Klassenflächen, abgegrenzt (s. Abb. 2).

Die Begrenzungen der Klassenflächen orientieren sich am Raster und an Flurstücksgrenzen, so dass sehr eckige Konturen entstehen, die sicher aufgrund des Rasterabstandes relativ nahe den natürlichen Grenzen verlaufen. Für jede dieser Klassenflächen wurde ein bestimmendes Grabloch mit einer kurzen Profilbeschreibung angelegt und in einem Schätzungsbuch erfasst (s. Abb. 1).

Abb. 1: Ausschnitt aus Feldschätzungsbuch mit Grablochbeschreibungen bis 1 m unter GOF

Schätzungsbuch für Ackerland												Anlage 4b (BodSchätz TechnAnw)			
Gemeindebezirk <i>Justizkommission</i>			Feuchtigkeitszustand des Bodens <i>mittel</i>			Tag der Schätzung <i>27.25.1932</i>		Tagesabschnitt <i>II</i>				Demarkung <i>Abwintnungflur 15</i>		ha, davon Grünland <i>1</i> ha	
Grablöcher			Feststellungen über Klassenstufen, Klassenabschnitte und Sonderflächen									Feldschätzungsbuch Seite <i>2.2.2</i>			
Nr.	Bodengefüge	Boden- zahl	Klasse				Bemerkungen	Allgemeines Klima + v. S.	Acker- zahl	Erläuterungen	Bemerkungen				
			Boden- art	Su- stanz- stufe	Ent- stehungs- art	Boden- zahl									
1	2	3	4	5	6	7	8-12	13	14	15	16				
<i>7</i>	<i>h'US 2,5'</i>														
<i>①</i>	<i>h'US 2</i>	<i>38</i>	<i>LS</i>		<i>D (39)</i>				<i>37</i>	<i>Ri Wa</i>					
<i>26, 24</i>	<i>h'US 2,5'</i>														
<i>②</i>	<i>h'US 2</i>	<i>25</i>	<i>S</i>		<i>D (25)</i>				<i>43</i>	<i>Ri Wa</i>					
	<i>h'US</i>														

Abb. 2: Ausschnitt der Bodenschätzungskarte 1 : 25 000 (Staatliche Geologische Kommission, Berlin)



Beispiel:

S5D → mittlere Bodenart bis 1 m unter GOF Sand, Zustandstufe 5, Entstehungsart Diluvium

Dieses Grabloch korrespondiert mit dem Klassenzeichen und der abgeleiteten Boden- und Ackerzahl, die für die Besteuerung maßgeblich sind. Die Zugänglichkeit dieser Urdaten bei den Finanzämtern ist sehr aufwendig. Ferner liegen die Unikate in meist nicht sehr gutem Zustand vor und werden kaum verliehen. Deshalb wurde in den letzten Jahren in Kooperation zwischen der Oberfinanzdirektion Cottbus mit nachgeordneten Finanzämtern und dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg begonnen, dieses umfangreiche Datenmaterial digital verfügbar zu machen. Ein Fertigstellungszeitpunkt der begonnenen Grablocherfassung kann noch nicht benannt werden. Bemühungen laufen, künftig auch die Konturen der Klassenflächen digital zu erheben.

Das Land Brandenburg ist gegenüber anderen Bundesländern in der glücklichen Lage, dass die im Maßstab bis zu 1:2 000 vorliegenden Originalkarten der Bodenschätzung auf topographische Karten (Ausgabe vor 1945) 1:10 000 (in schwarz-weiß) und 1:25 000 (farbig) umgezeichnet wurden. Mehr oder weniger flächendeckend liegen für die damalige landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) im Maßstab 1:10 000 vergrößerte Blätter der TK 25 mit Konturen und Klassenflächeneinträgen in Manuskriptform vor. Für ca. 70 % der damaligen LN des Landes liegen die Konturen mit Klassenzeicheneintrag in farbiger und gedruckter Form im Maßstab 1:25 000 vor.

Klassenzeichen symbolisieren die mittlere Bodenart der Bodenschätzung bis 1 m unter Gelände (GOF) sowie die geologische Entstehungsart und die Bodenzustandsstufe.

Wegen des Zieles der Besteuerung sind die Angaben zur geologischen Entstehungsart nicht sehr differenziert (Entstehungsarten: Al Alluvium, D Diluvium, L_ö Löß, V Verwitterungsböden und Vg Gesteinsböden). Da bislang die Grablochbeschreibungen mit Koordinaten in Brandenburg nicht verfügbar sind, wird das Klassenzeichen für modernere Aussagen z.B. für die Ableitung der Bodenform interpretiert (bereits bei der MMK erfolgt). Alle Interpretationen bedürfen einer gewissen Lokalkennntnis und sollten weitere Informationen wie geologische Kartenwerke einbeziehen.

Die Ableitung von bodensystematischen Einheiten ist allerdings nur durch Lokalkennntnis oder eichende Geländeerhebungen möglich (z.B. Standortkundliche Ergänzung der Bodenschätzung oder neue Untersuchungen). Es bleiben diesbezüglich jedoch immer Unsicherheiten. Insbesondere ist die Erkundungstiefe von 1 m zu beachten. Eine Parametrisierung der Horizonte von abgeleiteten Bodenformen ist ohne weiterführende Informationen wie aus Aufschlussesdatenbanken nur mit sehr großer Unsicherheit möglich.

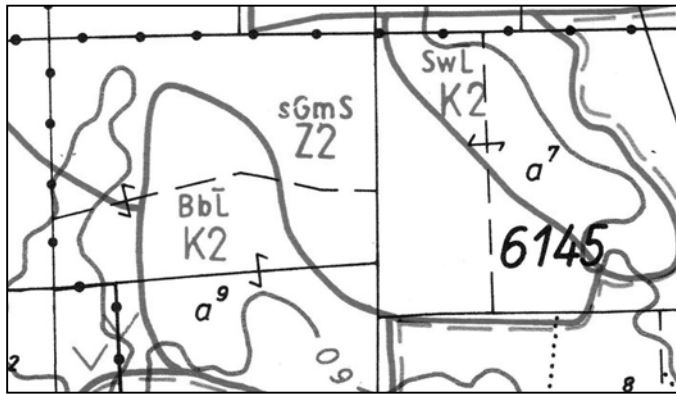
2.2 Forstliche Standortkartierung 1:10 000

Die Forstliche Standortkartierung ergänzt gewissermaßen die Erhebungen der Bodenschätzung auf den forstlichen Flächen, die zur Zeit der Kartierung existierten. Sie wurde im Maßstab 1:10 000 nach 1990 abgeschlossen. Die Geländeerkundungen wurden bis in eine Tiefe von 3 m unter Gelände und in einem größeren rasterorientierten Verfahren durchgeführt. Bohrungsabstände können mehrere 100 Meter betragen haben. Die mehr oder weniger homogenen Flächen wurden mit Lokalbodenformen charakterisiert (s. Abb. 3), also der Kombination von bodensystematischer und substratsystematischer Einheit. Diese Lokalbodenformen sind in einem Bodenformenkatalog aufgelistet. Er enthält charakteristische Horizont- bzw. Substratabfolgen mit zugeordneten Parametern, die zur forstlichen Anbauplanung notwendig sind und zu so genannten Nährkraftstufen unter Einbeziehung der Humusform führten. Teilweise wurden auch Wechselstandorte mit zwei Lokalbodenformen ausgewiesen. Problem bei der Auswertung sind lokal die nomenklatorischen Änderungen während der Kartierung, die schwere Zugänglichkeit der Inselkarten aufgrund der Kartenfülle und die fehlende digitale Verfügbarkeit.

Ein weiteres Problem ist, dass die idealisierten Profildaten teilweise mit anderen Standards als heute üblich erhoben wurden und einige Parameter für heutige Auswertungsmethoden fehlen. Jedoch lassen sich mit einiger Erfahrung die Lokalbodenformen heutigen Bodenformen und damit auch den damit verbundenen Parametern für neue Auswertungsmethoden zuordnen.

Dadurch lässt sich bei entsprechender Kenntnis und Daten-/Kartenverfügbarkeit eine Aussage für den Maßstabbereich der Forstlichen Kartierung ableiten.

Abb. 3: Ausschnitt aus FSK 1:10 000 mit Eintrag von Lokalbodenformen



Beispiel: SwL → Schwarzheider Tieflehm-Fahlerde

2.3 Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung 1:10 000

Dieses Kartenwerk diente weniger der Anbauplanung auf den konkreten Flächen, sondern der damaligen staatlichen Planung auf landwirtschaftlicher Betriebsebene. Die in der Regel mehrere Tausend Hektar großen Landwirtschaftsbetriebe erhielten vor 1990 staatliche Planvorgaben, die auf der Kenntnis der allgemeinen Produktionsvoraussetzungen und dem Bedarf der Volkswirtschaft basierten. Aus dieser Zielstellung resultiert auch der Zielmaßstab 1:100 000.

Für dieses Kartenwerk wurden jeweils innerhalb weniger Wochen Arbeitskarten im Maßstab 1:25 000 durch betreffende Bearbeiter entworfen. Die Geländearbeiten waren mehr oder weniger darauf ausgerichtet, verfügbare Informationen zum Relief, zur Geologie oder der Bodenschätzung für die Zuordnung und Beschreibung von Legendeneinheiten zu überprüfen und zu bewerten. Innerhalb von maximal acht Jahren waren die endgültigen Karten im Maßstab 1:100 000 gedruckt.

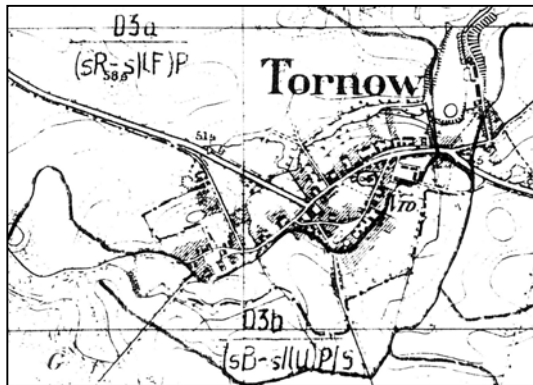
Bei diesem Kartenwerk existieren die Arbeitskarten 1:25 000 mit den Konturenentwürfen für den Zielmaßstab 1:100 000. Diese Karten besitzen jedoch erst eine grobe Legendenzuordnung zu so genannten Standorttypen (s. Abb. 4), die später in die Standortregionaltypen (s. Abb. 5 und 6) differenziert wurden. Unter dem Symbol des Standorttyps in den Arbeitskarten befindet sich in Klammern die Angabe der möglichen Bodenformenspanne, die keine Auskunft über den Flächenanteil der genannten Bodenformen gibt. Ferner wird nach dieser Klammer der Gefügestil (Senken, Platten oder Hanggefüge) angegeben.

Die gedruckten Kartenblätter im Maßstab 1:100 000 besitzen eine blattbezogene Randlegende. Sie setzt sich aus dem Regionaltypensymbol, den Bodenformen aus der Basis der TGL 243000 sowie spezifischen Angaben wie zum Beispiel zur Vernässung zusammen. Damit stellt diese Legende eine Differenzierung gegenüber den Einträgen einer vorläufigen Legende in den Arbeitskarten dar.

Auf der Basis der Arbeitskarten wurden die Konturen der MMK nach dem damaligen Stand der Technik digital erfasst. Das bedeutet, dass die meist rundlichen Konturen mit relativ wenig Stützpunkten und geraden Strecken dazwischen nachempfunden wurden. Damals war dies eine Entscheidung zugunsten des geringeren Aufwandes, weil nicht das kartographische Layout im Vordergrund stand, sondern die Flächenbilanzierung für die oben genannten Planungsziele.

Nach der Überführung dieser Daten in heutige Möglichkeiten der Darstellung in einem GIS zeigten sich Überlappungen, offene Zwickelflächen sowie Flächenspiegelungen, die vor einer kartographischen Nutzung korrigiert wurden. Dies geschah zu Beginn der 90er Jahre durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, die diese Daten gesichert hatte und nach diesem Arbeitsgang an die inzwischen gegründeten Staatliche Geologischen Dienste in den neuen Bundesländern übergab.

Abb. 4: Ausschnitt aus einer Arbeitskarte 1:25 000 mit vorläufigen Legendensymbolen



Beispiel:
D3b
(sB-s/IU)P/S

Standorttyp:
Grundwasser- und stauwasserbestimmte Sande und Tieflehme

Bodenformenspanne und Gefügestil:
Sand-Braunerde bis Sandtieflehm-Braunstaugley, Platten und Senkengefüge

Abb. 5: Ausschnitt aus einer gedruckten farbigen MMK 1:100 000



Beispiel:
D3a1 → Sand und Tieflehm der ebenen bis kuppigen Platten sowie Hügel (sB, s/I/F)

Abb. 6: Dokumentationsblatt A – kreisbezogene Beschreibung einer Generallegendeneinheit

MMK-Dokumentationsblatt A (digitale Primärdaten)										
Legendensymbol:										
Standortregionaltyp: <input type="text" value="D5a0203"/>										
Untertyp: <input type="text" value="0"/>										
Lithologie: <input type="text" value="Lm"/> dominierend: <input type="text"/> subdominierend: <input type="text"/>										
Lithogenese: <input type="text" value="g"/> dominierend: <input type="text"/> subdominierend: <input type="text"/>										
Stratigraphie: <input type="text" value="W2"/> dominierend: <input type="text"/> subdominierend: <input type="text"/>										
Steinigkeit: <input type="text"/>										
Oberboden: <input type="text" value="21"/> Unterboden: <input type="text" value="21"/> Steinsohle: <input type="text" value="0"/> Blockgehalt: <input type="text" value="1"/>										
Carbonattiefe: <input type="text" value="1"/> Mesorelief: <input type="text" value="Wellige Platte"/>										
Substratwechsel: <input type="text" value="I-12"/> Gruppen I bis VI: <input type="text"/> Neigungsflächentyp: <input type="text"/>										
Hangneigungsgruppen: <input type="text" value="32x---"/> <input type="text" value="04"/>										
Bodenformeninventar:										
Reliefposition:	<input type="text" value="E"/>	<input type="text" value="E"/>	<input type="text" value="Oh"/>	<input type="text" value="Uh"/>	<input type="text" value="H"/>	<input type="text" value="M"/>	<input type="text" value="Uh"/>	<input type="text" value="E"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bodenform:	<input type="text" value="IP"/>	<input type="text" value="m/IP"/>	<input type="text" value="pC"/>	<input type="text" value="em"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Flächenanteilsklasse:	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Relat. Flächenanteil:	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Wasserhältnisse:										
Grundwasserstufen: <input type="text" value=">80, >40, >20, <20"/> Stauwasserstufen: <input type="text" value=">80, >40, >20, <20"/> Spezielle Wasserhältnisse: <input type="text" value="010"/>										
Substratflächentyp: <input type="text" value="I+s/I"/>										
Hydromorphieflächentyp: <input type="text" value="N1"/>										
Räumliche Heterogenität: <input type="text" value="k"/>										
Inhaltliche Heterogenität der Leitbodenformen: <input type="text" value="A1"/>										
Bodenformen insgesamt: <input type="text" value="C1"/>										
Bearbeiter und Aufnahmejahr: <input type="text" value="Schiele/75"/>										

Bereits mit der analogen Erstellung der MMK wurden so genannte Dokumentationsblätter A (s. Abb. 6) angefertigt, die eine kreisbezogene präzisierte Legende für die Standortregionaltypen eines Kreises (im Sinne einer Unterteilung der Generallegendeneinheiten) darstellten. Diese ebenfalls digital vorliegenden Daten beinhalten verschiedenste Angaben, wie z.B. zum Relief, zur Geologie, zur Steinigkeit, zu den Bodenwasserverhältnissen und zur Heterogenität sowie zu den (Flächen-)Bodenformen und ihren Anteilen, in Fünfteln geschätzt. Damit wurde erstmals der Schritt gewagt, eine Datenbank im Sinne heutiger Flächendatenbanken den Konturen einer Legendeneinheit zuzuordnen.

Jedoch sind diese auf der TGL 24300 basierenden Bodenformen ohne eine vertikale Abfolge von Horizonten und Substraten sowie den notwendigen Parametern für heute übliche Auswertungen angegeben. Viele der gesondert im Dokumentationsblatt A erfassten Merkmale sind heute in den Bodenformen detaillierter enthalten. Reliefangaben sind heute aufgrund von digitalen Gelände- und Auswertungsmethoden nicht mehr gekoppelt zu erheben.

Das Dokumentationsblatt A stellt zu den Legendeneinheiten der gedruckten Karten eine weitere Präzisierung der Flächeninhalte zugeordneter Flächen dar.

Alle Kartenwerke (auch Neuere, s.u.) stellen Flächen dar, die trotz der verschiedenen Maßstäbe immer eine natürliche Heterogenität aufweisen. Allerdings unterscheiden sich die Kennzeichnungen in dieser Frage. Bodenschätzung und auch die Forstliche Standortkartierung kennzeichnen die Flächen überwiegend homogen, entweder durch Angabe eines Klassenzeichens oder durch eine Lokalbodenform. Kartenwerke im kleineren Maßstäben müssen zwangsläufig von einer inneren Heterogenität der Flächen ausgehen und berücksichtigen dieses in ihren Legendeneinheiten (s. MMK) durch Kennzeichnung von Bodenformengesellschaften.

3 Neue Kartenwerke

Nach der Wiedervereinigung 1990 gab es in der Bodenkunde und der bodenkundlichen Kartierung (durch Staatliche Geologische Dienste) das Bestreben, auf diesem Gebiet eine einheitliche Methodik zu entwickeln. Erstes Ergebnis war die Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, Hannover 1994 (weiter als KA 4). In ihr sind die Erfahrungen bei der Kartierung aus den alten und neuen Bundesländern eingeflossen. Bei der Boden- und Substratsystematik wurde mit dem Band 86 der Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 1998 der betreffende Teil der KA 4 fortgeschrieben.

Die Kartieranleitung regelt insbesondere die Aufnahme von Bodenprofilen. Zur Flächenbeschreibung gibt es eine Datenfeldübersicht (s. KA 4, Abb. 25, S. 278/9), die auch die Anforderungen von bodenkundlichen Auswertemethoden (HENNING 2000) berücksichtigt (s. Tabelle 2 – KA 5, Abb. 32, im Druck). Dieser Datensatz bezieht sich auf die Legendeneinheiten und enthält demzufolge mittlere Angaben zu den beteiligten Bodenformen einschließlich ihrer idealisierten Horizont- und Substratabfolgen mit deren Parametern für die Auswertungsmethoden.

Tab. 2: Legendenkopf zur Beschreibung von Flächeninhalten (Entwurf für die KA 5)

Datenfeld				
Nummer	Feldkurzzeichen	Beschreibung		
1	NRKART	lfd. Nr. der Legendeneinheit	Titeldaten	
2	TK	Kartenblattnummer		
3	AUTOR	Bearbeiter / -in		
4	BR	Bodenregion	Bodenlandschaftliche Zuordnung	allgemeine Flächendaten
5	BGL	Bodengroßlandschaft		
6	BL	Bodenlandschaft		
7	LBA	Leitbodenassoziation	Bodengesellschaftliche Zuordnung	
8	LBG	Leitbodengesellschaft		
9	BFG	Bodenformengesellschaft		
10	BF	Bodenform(en)		
11	RLFORM	Reliefformtyp(en)	Flächenbezogene Angaben zum Relief	
12	NEIG	Neigung		
13	EXPOS	Exposition		
14	NN	Höhe über NN		
15	NUTZ	Nutzung	Flächennutzung	

Datenfeld				
Nummer	Feldkurzzeichen	Beschreibung		
16	FLANT	Flächenanteil der Böden	Flächeninhaltsstruktur	flächenbezogene Profildaten
17	VERMU	Verteilungsmuster		
18	BOTYP	bodensystematische Einheit	Kennzeichnung der Bodenform	
19	BOSCH	typisierte Bodenartenabfolge		
20	GEOTYP	typisierte Substratgeneseabfolge		
21	HERTYP	typisierte Bodenausgangsgesteinabfolge		
22	SUBSCH	Substratsystematische Einheit		
23	HUFORM	Humusform		
24	MHGW	gemittelter Grundwasserhochstand	Wasserverhältnisse	
25	MNGW	gemittelter Grundwassertiefstand		
26	SPEZGW	spezielle Angaben zum Grundwasser		
27	NASS	Vernässungsgrad		
28	OEKFEU	ökologischer Feuchtegrad		
29	EROSG	Erosionsgrad	Erosion	
30	EROSF	vorherrschende Erosionsform		
31	HORIZ	Horizontsymbol	Horizonte	flächenbezogene Horizontdaten
32	OTIEF	Horizont-Obergrenze		
33	UTIEF	Horizont-Untergrenze		
34	BOART	Bodenart / Torfart / Festgestein		
35	STRAT	Stratigraphie	Geologie	
36	GEOGEN	Substratgenese		
37	HERK	Bodenausgangsgestein		
38	SUBSTR	Substratartensymbol		
39	HUMUS	Humusgehalt	Eigenschaften	
40	KALK	Carbonatgehalt		
41	PH	pH-Wert		
42	LD/SV	effektive Lagerungsdichte / Substanzvolumen		

3.1 Methodik der Kartierung in Brandenburg

Aus den Vorgaben der KA 4 und den Ansätzen zur Ausweisung idealisierter Bodenprofile bei der Forstlichen Standortkartierung und dem Legendenkonzept der MMK wurde für die bodengeologischen Kartenwerke Brandenburgs ein Konzept entwickelt, das für die verschiedenen zu bearbeitenden Maßstäbe gleichermaßen gilt.

Nach der Recherche zu vorhandenen Kartenunterlagen und Aufschlusdaten werden die Informationen gemeinsam interpretiert und führen zu einem Kartenentwurf, der zum Ziel hat, maßstabsabhängig möglichst homogene Flächen abzugrenzen. Wo dies aufgrund der Heterogenität nicht möglich ist, werden die Einzelflächen so abgegrenzt, dass regelhaft kombinierte Böden nach ihrem Inhalt, Verteilungsmuster und ihrer Flächengewichtung innerhalb einer Kontur (Kartiereinheit) zusammengefasst werden. Bei unsicherer Datenlage sind Geländeuntersuchungen erforderlich, die bei einer Kartierung im Maßstab 1:50 000 (BK 50) intensiver und auch flächenrepräsentativ erfolgen.

Der Bodenformeninhalt der Kartiereinheiten wird so genau wie möglich erfasst (bei BK 50 und bisher teilw. bei kleineren Maßstäben). Danach werden die Bodenformeninhalte in einem mehrstufigen Prozess zunächst zu so genannten Generallegendeneinheiten und danach zu Blattlegendeneinheiten zusammengefasst. Blattlegendeneinheiten sind für die Überführung einer digitalen Karte zum Druck/Plot einzelner Kartenblätter mit einer übersichtlichen Blattrandlegende erforderlich. Diese Legendeneinheiten stellen für alle zugeordneten Kartiereinheiten des Blattausschnittes eine mittlere Flächeninhaltsbeschreibung und damit eine Abstraktion des individuellen Inhalts dar.

Folgende Schritte der Sortierung bzw. Zuordnung sind für jede Kartiereinheit zu durchlaufen:

1. Schritt: Zuordnung nach der flächenhaft dominierenden Substratgenese innerhalb einer Kartiereinheit – zu einem Substratgeneseflächentyp


2. Schritt: Zuordnung nach einer flächenhaft dominierenden Bodenartenschichtung oder einer vorwiegenden Kombination von Bodenartenschichtungen – zu einem bodenartigen Flächentyp
3. Schritt: Zuordnung nach einer flächenhaft dominierenden Pedogenese oder einer vorwiegenden Kombination von Pedogenesen – zu einem Pedogeneseffächentyp
4. Schritt: Zuordnung nach einer untergeordneten oder flächenhaft begleitenden Pedogenese oder einem begleitendem Substratmerkmal – zu einem ergänzenden Flächentyp
5. Schritt: Zusammenfassung der Generallegendeneinheiten (Ergebnis Schritt 1 – 4) nach der Ähnlichkeit zu Blattlegendeneinheiten

Beim Schritt 5 spielen auch redaktionelle Gesichtspunkte wie die Kartengestaltung auf dem zur Verfügung stehenden Blattrand eine Rolle.

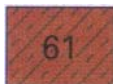
3.2 Beispiele für Legendeneinheiten und ihre Bodenformen

In den Tabellen 3 und 4 werden redaktionelle Lösungen für die Darstellung von Blattlegendeneinheiten verschiedener Kartenwerke gezeigt. Insbesondere die Flächenbodenformen mit einer höheren Flächenanteilsklasse sind für die Auswertung von Bedeutung. Ähnlich wie diese Legendeneinheiten mittlere Verhältnisse und damit Flächentypen darstellen, werden die Auswertungen für die Flächenbodenformen mit ihren Anteilen ebenfalls zu heterogenen Angaben führen, die zu Flächentypen zusammengefasst werden. Die üblichen Auswertungsmethoden (HENNING 2000) sind auf die Angaben zu den idealisierten Horizont- und Substratabfolgen der einzelnen Flächenbodenformen ausgerichtet.

Tab. 3: Beispiel einer Blattlegendeneinheit der Bodengeologischen Karte des Landes Brandenburg 1:50 000, Blatt Potsdam

4.11 Böden aus Lehmsand über Lehm mit Kolluvialsubstraten				
	4.46.29	Fahlerde-Braunerden	- überwiegend Fahlerde-Braunerde und	3.1 LF-BB, YOn: pky-ls(Sp)/pfl-sl(Mg)//gm-csl(Mg)
	4.46.71	aus Lehmsand über	Hortisol aus Kryoturbatlehmsand über	
	4.47.20	Lehm	Flieβsandlehm über tiefem	2 YKn: uk-ls/pfl-sl(Lg)//gm-sl(Lg)
	4.47.25		Grundmoränenkalksandlehm	
	4.47.29	<i>Luvic Cambisols from</i>	- gering verbreitet Kolluvisol aus	2 YKn: oj-ls/pfl-sl(Lg)//gm-sl(Lg)
	4.47.41	<i>sandy to loamy</i>	Kolluviallehmsand über Flieβsandlehm	
	4.47.46	<i>deposits overlaying</i>	über tiefem Grundmoränensandlehm	
	4.47.71	<i>loamy till</i>	- gering verbreitet Kolluvisol aus	
4.47.716		Kipplehmsand über Flieβsandlehm über		
4.47.730		sehr tiefem Grundmoränensandlehm		

Tab. 4: Beispiel einer Blattlegendeneinheit der Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg – Grundkarte Bodengeologie 1:300 000

4.5 Böden aus Sand/Lehmsand über Lehm mit Böden aus Sand	
	überwiegend Braunerde-Fahlerden und Fahlerden und gering verbreitet pseudovergleyte Braunerde-Fahlerden aus Lehmsand über Lehm , z.T. Moränencarbonatlehm, gering verbreitet Braunerden , meist lessiviert aus Lehmsand oder Sand über Schmelzwassersand ; selten Kolluvisole aus Kolluviallehmsand über Lehm, z.T. Moränencarbonatlehm
	BB-LF, LF: p-ls(Sp)/g-el,p-l(Mg)[3.2]; sBB-LF: p-ls(Sp)/g-el,p-l(Mg)[2];
	IBB, BB: p-ls,s(Sp)/f-s(Sgf)[2]; YK/LF: uk-ls(Sp)/g-el,p-l(Mg)[1];
	LL, BB-LL: p-ls(Sp)/g-el,p-l(Mg)[1]
	WRB: <i>Haplic Albeluvisol from glacial deposits</i>

Die Abbildung 7 zeigt eine Flächebodenform aus der Flächendatenbank zur bundesweiten Bodenübersichtskarte 1:200 000 sowie zur Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg 1:300 000.

Zu diesen Horizont-Substrat-Kombinationen werden aus einer Vielzahl von Geländeaufnahmen mit Analysewerten die entsprechenden typischen Parameter (s. Tab. 2) zugeordnet.

Beispiele für die möglichen Flächentypen zeigen erste Auswertungs- und Themenkarten einer Inter- netpräsentation zur Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg 1:300 000 (www.lrgb.de/boden/).

Abb. 7: abgeleitete Flächenbodenform ohne Parameter

FBF aus Legende BÜK 300

3B-PP:p-s(Sp)/f-s(Sgf)

Korrekturen

BB-PP:p-s(Sp)/f-s(Sgf)

Substrattyp p-s(Sp)/f-s(Sgf)

Häufigkeit

3

Bezug - Legende

Legenden-Nr.	43	AREA (absolut) in ha	219037
		AREA (relativ)	7.17
Flächenanteil in LE	2	Flächenanzahl (absolut)	491
		Flächenanzahl (relativ)	3.44

Bezug - Flächenbodenform - Legende

AREA FBF (absolut in ha)	43807	Priorität	Ja
AREA_FBF (relativ)	1.43	Bemerkungen	
AREA FBF (normiert in ha)	19912		
AREA_FBF (normiert-relativ)	0.09		

Datensatz: 1 von 3

Bezug - Flächenbodenform - Archiv

potentielle AREA FBF (absolut in ha)	23652
potentielle AREA FBF (relativ)	0.77
potentielles Auftreten in Fläche (absolut)	737
potentielles Auftreten in Fläche (relativ)	5.16
Häufigkeit in Legende	3

Horn	Tiefe	H2	H1	SGen	GB	BoAGr	GESTEIII	Median	min	max	Status	Datum
1	-6	L+	Of					-6	-3	-10	7	01/02/02
2	-3		Oh					-3.5	-1	-4	4	01/02/02
3	5		Aeh	p	-	s	Sp	5	1	20	58	02/02/02
4	10		Ahe	p	-	s	Sp	5	1.5	20	22	02/02/02
5	35		Bvs	p	-	s	Sp	25	10	60	29	02/02/02
6	60	Bv-	ilCv	p	-	s	Sp	25	10	125	53	02/02/02
7	200		ilCv	fg	-	s	Sgf	0	5	170	220	02/02/02
*	0							0	0	0		

Bemerkungen

Datensatz: 73 von 652

Literatur

- ANWEISUNG FÜR DIE FORSTLICHE STANDORTSERKUNDUNG IN DER DDR (Standortserkundungsanweisung - SEA).- Potsdam 1974 (Ergänzungen 1985).
- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 4. Auflage; Hannover (als KA 4 zitiert).
- ARBEITSKREIS BODENSYSYSTEMATIK DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands.- Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesell. , Bd. 86, S. 1-180.
- FACHBEREICHSTANDARD TGL 24300/07 (1987): Aufnahme landwirtschaftlich genutzter Standorte - Substratarten und Substrattypen, Berlin.
- FACHBEREICHSTANDARD TGL 24300/08 (1986): Aufnahme landwirtschaftlich genutzter Standorte - Horizonte, Bodentypen und Bodenformen von Mineralböden, Berlin.
- HENNINGS, V. (KOORDINATOR)(2000): Methodendokumentation Bodenkunde - Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. - 2. Aufl., Reihe G, Geol. Jahrb., Heft 1, Hannover (Schweitzerbart), 232 S.
- KÜHN, D. (1998): Arbeitsanleitung zur Erarbeitung einer Bodenkarte im Maßstab 1 : 50 000 (BÜK 50) für das Land Brandenburg. – Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (unveröff. Bericht)
- RÖSCH, A. & KUHRANDT, F. (1950): Bodenschätzung und Liegenschaftskataster. Verlag Heymann. Berlin
- KÜHN, D. & A. BAURIEGEL (2000): Zur Entwicklung der bodenkundlichen Kartierung unter besonderer Berücksichtigung von Brandenburg. - Brandenburger Geowissenschaftliche Beiträge, H. 1/2, S. 183 - 193 Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow.
- SCHMIDT, R.; DIEMANN, R. (1981): Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlich Standortkartierung.- Eberswalde (Akad. Landwirtschaftswiss., Forschungszentrum f. Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Eigenverlag).

Stand der Technik von Direkt-/ in-situ Probennahmeverfahren zur Ermittlung der Sickerwasserbeschaffenheit

Dr. Claus Nitsche, BGD Dresden GmbH

Der nachfolgende Beitrag ist ein Auszug aus dem Leitfaden des LUA Brandenburg „Praxiserprobte und innovative Direkt/ in-situ Probennahmeverfahren für Grund-, Sickerwasser, Schadstoffphase und Bodenluft im Rahmen der Altlastenbearbeitung (Sickerwasserprognose)“, der auf der Grundlage einer umfassenden internationalen Literaturrecherche, in der die Erfahrungen des Bearbeiters integriert wurden, bearbeitet wird. Die Zielstellung des unter wissenschaftlicher Leitung von Herrn Prof. Voigt (BTU Cottbus) und fachlicher Begleitung von Frau Dr. Hahn und Herrn Wunsch (LUA Brandenburg, Referat Altlasten) zu bearbeitenden Leitfadens besteht darin - sowohl den zuständigen Behörden im Land Brandenburg als auch den mit der Aufgabenproblematik beauftragten Ingenieurbüros, Laboren etc. einen Überblick und eine Entscheidungshilfe für die Auswahl und sachgerechte Anwendung folgender Untersuchungs-/ Probennahmeverfahren zu geben:

- Saugkerzen,
- Wick Sampler
- Sickerwassermessstellen,
- Sondierverfahren (Direct Push) und
- Lysimeter,

Einordnung der in-situ Probenahmeverfahren im Rahmen der Sickerwasserprognose

Zur Bewertung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser sieht die BBodSchV die Durchführung einer Sickerwasserprognose vor. Bisher fehlen jedoch praktikable Instrumente zur Umsetzung der Sickerwasserprognose. Insbesondere die Ermittlung der Schadstofffreisetzung aus Böden/Materialien lassen einen breiten Interpretationsspielraum zu. Damit ist der Vollzug des BBodSchG und der BBodSchV in den Ländern sehr erschwert.

Nach Anhang 1 Nr. 3.3 der BBodSchV können die Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser am Ort der Beurteilung durch eine direkte Probennahme (Direktbeprobung) oder auf der Grundlage einer Abschätzung ermittelt werden. Zu den in der BBodSchV aufgeführten Abschätzungsmethoden zählen auch in-situ Untersuchungen.

Die **Direktbeprobung** von Sickerwasser am Ort der Beurteilung ist in Anhang 1 Nr. 3.3. BBodSchV explizit genannt. Darüber hinaus ist die direkte Gewinnung von Sickerwasser in der ungesättigten Zone oberhalb des Ortes der Beurteilung möglich.

Für die direkte Gewinnung von Sickerwasser stehen derzeit die in der Einleitung genannten Verfahren zur Verfügung.

Einordnung der in-situ Probennahmeverfahren entsprechend ihrer Zielstellung

Die in-situ Probennahmeverfahren können entsprechend ihrer Zielstellung wie folgend in der Tabelle eingeordnet werden.

Hinsichtlich des in der Praxis erreichten Anwendungsstandes können auf der Grundlage einer Befragung folgende grundsätzlichen Aussagen getroffen werden:

- Die Beprobung des Grundwassers dominiert über der des Bodenwassers, des Bodens und der Bodenluft.

Verfahren	Zielstellung
Saugkerzen	Punktueller Entnahme von Bodenwasserproben zur Aufnahme von einmaligen Ist-Zuständen bzw. der zeitlichen Entwicklung der Bodenwasserbeschaffenheit in Abhängigkeit des Kapillardruckes entlang eines vertikalen Strömungsprofils
Wick Sampler	Linienhafte bzw. kleinflächige Entnahme von Bodenwasserproben zur Aufnahme der zeitlichen Entwicklung der Bodenwasserbeschaffenheit in Abhängigkeit des Kapillardruckes
Sickerwassermessstellen	Entnahme von frei perkolierenden Sickerwasserproben (ohne Anlegen eines Unterdruckes) oberhalb wasserstauender Bänder und Schichten bzw. im Bereich der Grundwasseroberfläche
Feldlysimeter	<p>Bilanzierung des Zu- und Abstromes an einem Teilkörper des zu betrachtenden Untergrundes nach Menge und Beschaffenheit zur Aufnahme der zeitlichen Entwicklung der Boden- bzw. Sickerwasserbeschaffenheit entlang eines räumlich begrenzten Strömungsbereiches zur:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Verbesserung des Verständnisses der im Bodenwasserbereich ablaufenden Migrationsprozesse (Prozessidentifikation) als Voraussetzung einer belastbaren Prognose der aus dem Bodenwasserbereich in den Grundwasserbereich eingetragenen Schadstofffrachten. ➤ modellgestützten Übertragung der im Labormaßstab unter naturnahen Bedingungen, jedoch unter stationären und wassergesättigten Versuchsbedingungen ermittelten Migrationsparameter in den Feldbereich (Parameteridentifikation). ➤ Modellidentifikation und -verifikation,
Sondierverfahren (Direct Push)	<p>Räumliche Erfassung der Schadstoffverteilung im Boden- und oberen Grundwasserbereich durch vertikal differenzierte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Beprobung des Bodens, der Bodenluft und des oberen Grundwasserbereiches oder/ und ➤ in situ Messungen bzw. Analysen

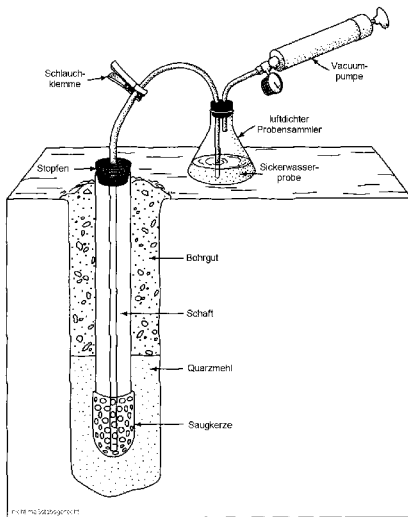
- Feldlysimeter und Saugkerzen werden sehr selten eingesetzt, wobei die Saugkerzen (unabhängig vom porösen Material) für PAK- Untersuchungen nur bedingt einsetzbar und für MKW- Untersuchungen nicht einsetzbar sind [DGFZ e.V, 2003].
- Die Drucksondierung mit Sensorkopplung wird häufiger angewendet als das GeoWater[®] Verfahren oder das Multilevelpackersystem, das vom UfZ als innovatives Verfahren benannt wurde, wobei festzustellen ist, dass dies nur für den Grundwasserbereich einsetzbar ist.
- Unter Berücksichtigung der Anzahl der bisherigen Anwender ist hinsichtlich der Nutzbarkeit der Probennahme- und Messverfahren folgendes ableitbar:
 - Für die Bewertung der Grundwassergefährdung sind nur Messstellen im Bereich der Grundwasseroberfläche (Sickerwassermessstellen), Drucksondierung mit Direktmessung bzw. -analyse, Drucksondierung mit integrierter Grundwasserprobennahmeeinrichtung, die klassische Sondierung mit Grundwasserprobennahme, das Multilevelprobennahmesystem und die Drucksondierung mit Sensorkopplung sehr gut geeignet.
 - Für die Bewertung der Mobilität von Schadstoffen aus altlastverdächtigen Flächen/ Altlasten sind nur Feldlysimeter, Messstellen im Bereich der Grundwasseroberfläche (Sickerwassermessstellen) und Drucksondierung mit Direktmessung bzw. -analyse sehr gut geeignet.
 - Für die Quantifizierung des Austrages von Schadstoffen aus altlasten-verdächtigen Flächen/ Altlasten sind nur Feldlysimeter und Messstellen im Bereich der Grundwasseroberfläche (Sickerwassermessstellen) sehr gut geeignet.
 - Für die Bewertung des Transportverhaltens von Schadstoffen aus altlastverdächtigen Flächen / Altlast sind nur Messstellen im Bereich der Grundwasseroberfläche (Sickerwassermessstellen), Drucksondierung mit Direktmessung bzw. -analyse und das Multilevelprobennahmesystem sehr gut geeignet.
 - Für den Ort der Beurteilung sind nur Messstellen im Bereich der Grundwasseroberfläche (Sickerwassermessstellen) und die Drucksondierung mit Direktmessung bzw. -analyse sehr gut geeignet.

Nachfolgend werden die einzelnen in-situ Probennahmeverfahren zusammenfassend beschrieben und bewertet.

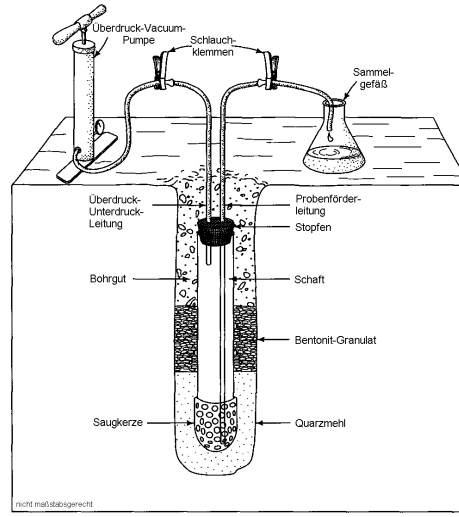
Saugkerzen

Zielstellung: Punktuelle Entnahme von Bodenwasserproben zur Aufnahme von einmaligen Ist-Zuständen bzw. der zeitlichen Entwicklung der Bodenwasserbeschaffenheit in Abhängigkeit des Kapillardruckes entlang eines vertikalen Strömungsprofils

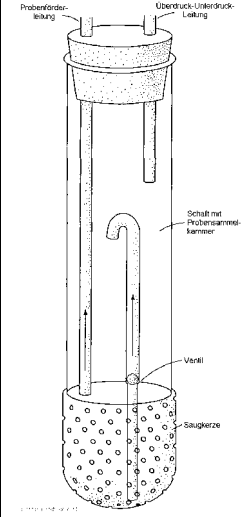
Varianten



Ein-Kammer-Saugkerze, Probenförderung erfolgt durch Unterdruck nach Perkoliation durch die Kerzenwand sofort an die Oberfläche. Damit wirkt auf die zu entnehmende Bodenwasserprobe der zur Entnahme aus dem Bodenwasserbereich erforderliche Unterdruck + der zur Förderung an die Oberfläche erforderliche Unterdruck. Die Entnahmetiefe wird durch den Dampfdruck des zu beprobenden Bodenwassers, des einzustellenden Entnahme- und Förderdruckes begrenzt. Praktisch dürfen diese -7 mWs nicht unterschreiten (-7 mWs $>$ Entnahmedruck $-$ Förderdruckhöhe in mWs).



Ein-Kammer-Saugkerze, Probensammlung in der Saugkerze bzw. im Saugkerzenschaft; Probenförderung erfolgt durch Überdruck an die Oberfläche, wobei die Saugkerze als „Rückschlagventil“ wirkt. Dadurch wird die Entnahmetiefe durch den Lufttrittspunkt der Saugkerze und die einzustellende Förderdruckhöhe begrenzt (Lufttrittspunkt der Saugkerze in mWs $>$ Förderdruckhöhe in mWs). Auf die zu entnehmende Bodenwasserprobe wirkt der zur Entnahme aus dem Bodenwasserbereich erforderliche Unterdruck und der zur Probenförderung an die Oberfläche erforderliche Überdruck, der in der Steigleitung + Probennahmegefäß auf den Wert des Luftdruckes abnimmt.



Zwei-Kammer-Saugkerze, Saugkerze und Saugkerzenschaft wurden voneinander getrennt ausgebildet, die durch eine Rückschlagklappe hydraulisch verbunden sind. Probensammlung erfolgt im Saugkerzenschaft; Probenförderung erfolgt durch Überdruck an die Oberfläche. Da der Förderdruck nicht auf die Saugkerze wirkt, wird die Einbautiefe vom zulässigen Betriebsdruck des Bodenwassersammelgefäßes begrenzt. Auf die Bodenwasserprobe wirkende Druckwechsel sind analog der Ein-Kammer-Saugkerze.

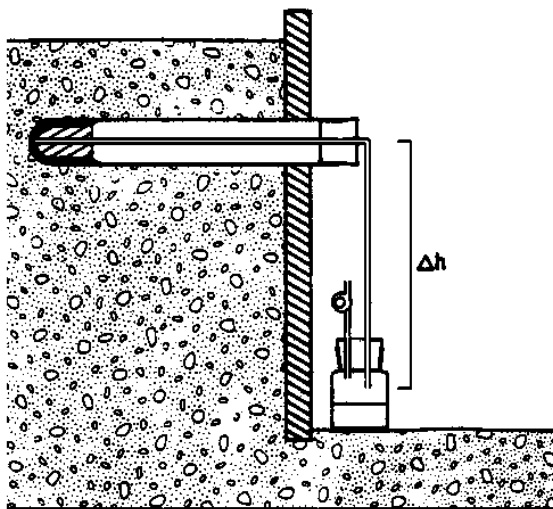
Kerzenmaterial geeignet zum Nachweis von:

- **Keramik, Al_2O_3 :** Nitrat, Chlorid, Bromid, Sulfat, Natrium
- **Nickel:** Natrium, Kalium, Calcium, Sulfat, org. Stoffe
- **Borosilikatglas:** org. Stoffe (z.B. PSM, DOC), Nitrat, Chlorid, Bromid, Sulfat, Natrium, Phosphat, bedingt Schwermetalle und LHKW
- **Prenart** (Quarz, Edelstahl, Teflon): Nitrat, Chlorid, Bromid, Sulfat, Natrium, Phosphat, Schwermetalle, DOC
- **Edelstahl:** Nitrat, Chlorid, Bromid, Sulfat, Natrium, Phosphat, PSM, org. Stoffe
- **Nylon:** Nitrat, Chlorid, Bromid, Sulfat, Natrium, Phosphat, Schwermetalle, PSM
- **Teflon** und andere **Kunststoffe** (z.B. PVC, PE, PVDF), Nitrat, Chlorid, Bromid, Sulfat, Natrium, Phosphat, Schwermetalle
- **Saugkerzen werden unabhängig vom Material für die Entnahme von Bodenwasserproben, die auf MKW analysiert werden sollen, gegenwärtig als nicht geeignet bewertet [DGFZ e.V., 2003].**

Vorteile von Saugkerzen	Nachteile von Saugkerzen
<ul style="list-style-type: none"> • hoher Bekanntheitsgrad in Deutschland • langjährige Erfahrungen • hydrophiles Kerzenmaterial (z.B. Keramik, Al₂O₃) besitzt geringe Porendurchmesser → hoher Luftdurchtrittspunkt („bubble point“) → über großen Unterdruckbereich anwendbar • hydrophobes Kerzenmaterial → geringe Ad- und Desorption gelöster Stoffe • bei Stoffkonzentrationen > 1 mg/l Saugkerzen gut geeignet • relativ unkomplizierter Einbau • relativ luftdichte Probenförderung möglich • verschiedene Steuermechanismen für Probenahme einsetzbar: <ul style="list-style-type: none"> - einmalig Unterdruck anlegen (diskontinuierlicher Betrieb - nur für einmalige Beprobung sinnvoll) - automatische Drucksteuerung (kontinuierlicher Betrieb) - kapillardruckgesteuerte Vakuumanlage (kontinuierlicher Betrieb – wird besonders empfohlen) - niederschlagsgetriggerte Probenahme (kontinuierlicher Betrieb – wird besonders empfohlen) 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Austauschkapazität von hydrophilem Kerzenmaterial • bei hydrophobem Kerzenmaterial weite Porendurchmesser nötig → niedriger Lufteintrittspunkt (bubble point → nur geringe Unterdruckbereiche anwendbar (Quarzmehl zum Einschlämmen verwenden!)) • signifikante Al-Abgabe von Keramik- und Al₂O₃-Kerzen an Bodenlösung • signifikante Ni-Abgabe von Nickel-Sinter-Kerzen an Bodenlösung → Verstopfung der Kerze • bei Stoffkonzentrationen im Spurenbereich nicht geeignet • nur punktbezogene Ergebnisse • Saugkerzen aus Keramik oder Glas sind durch Krafteinwirkung bei Einbau besonders bruchgefährdet • Gefügeänderungen im Umkreis von 2 cm um Kerze • Einzugsbereich: wenige cm um Kerze • Entgasung der Bodenwasserprobe bzw. Verlust leichtflüchtiger Inhaltstoffe durch den bei der Beprobung anzulegenden Unterdruck. Die entstehende Gasphase kann durch spezielle Saugkerzensysteme gesammelt und analysiert werden. • Druckbedingte Veränderung der Bodenwasserbeschaffenheit im Probensammelgefäß (Redoxspannung, pH-Wert, Ausfällungen,...) • Veränderung der Bodenwasserbeschaffenheit durch lange Probensammelzeiten (mikrobiologische Prozesse,...)

Einbauvarianten

Horizontal



Horizontaler Einbau aus einem Messschacht mit ausgefüllter Kerze, hängender Wassersäule zur Unterdruckerzeugung und Sammelgefäß mit Gärröhrchen (aus DVWK, 1990)

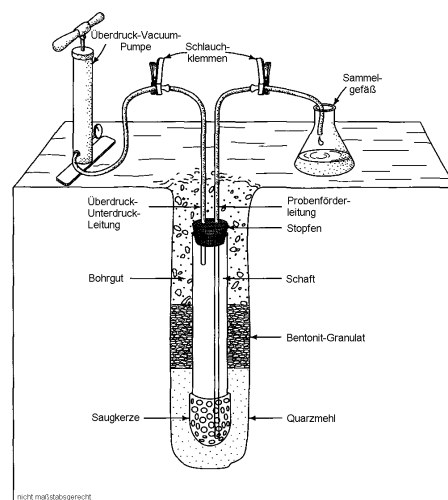
Vorteile:

- + Keine einbaubedingten bevorzugten vertikalen Fließwege
- + Minimale Störung des Bodens um die Saugkerze, bedingt durch minimalen Bohrdurchmesser und Einschwemmen der Saugkerze.
- + Einfache Möglichkeit der konstanten Unterdruckerzeugung durch eine hängende Wassersäule
- + Minimierung der auf die Bodenwasserprobe wirkenden Druckwechsel
- + Einfache Möglichkeit der gasdichten Bodenwasserprobennahme (kein Verlust an unterdruckbedingt gebildeten Gasen bzw. in die Gasphase übergegangenen leichtflüchtigen Inhaltsstoffen durch die Möglichkeit des Ersatzes der oben abgebildeten Schlauchleitung durch ein Metallröhrchen (Edelstahl) und des oben abgebildeten Sammelgefäßes mit Gärröhrchen durch z.B. gasdichte Beutel mit Septumtechnik ggf. in Kopplung mit Headspaceröhrchen mit Septumverschluss
- + Einfache Wartung und Betrieb der Anlage
- + Möglichkeit der wirtschaftlichen Installation mehrerer Saugkerzen in einem zu überwachenden Horizont

Nachteile:

Praktisch auf ca. 5 m unter Gelände begrenzte Installationstiefe

Vertikal



Vertikaler Einbau mit externer Unterdruckerzeugungseinheit (aus FETTER, 1993)

Vorteile:

- + Praktisch wird die Installationstiefe nur durch den Lufteintrittspunkt der Saugkerze (Ein-Kammer-System) bzw. den zulässigen Betriebsdruck des Sammelgefäßes (Zwei-Kammer-System) begrenzt.

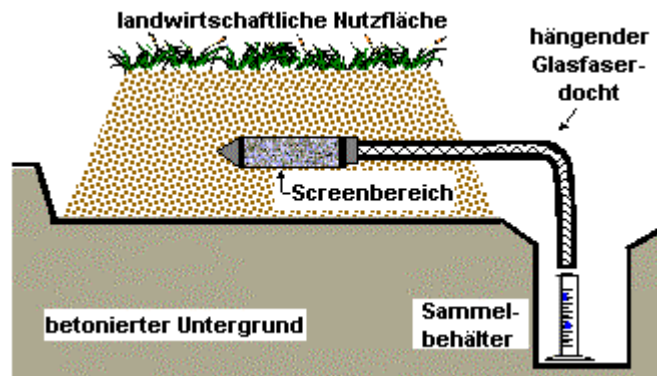
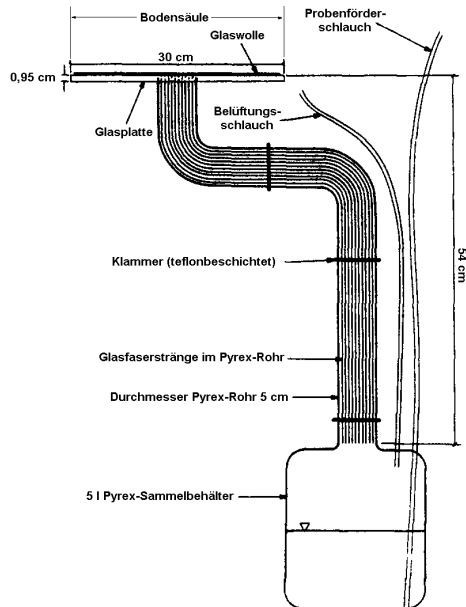
Nachteile:

- Möglichkeit der Entwicklung einbaubedingter bevorzugter vertikaler Fließwege
- Jedes Saugkerzensystem sollte in jeweils einer Bohrung installiert werden
- Im Vergleich zum horizontalen Einbau größere Störung des Bodens um die Saugkerze, bedingt durch größeren Bohrdurchmesser und Einschwemmen des Verfüllmaterials
- Externe Anordnung einer Unterdruckerzeugungseinheit
- Ein im Vergleich zum horizontalen Einbau auf die Bodenwasserprobe wirkender größerer Druckwechsel
- Keine nachträgliche Möglichkeit des Umbaus des Saugkerzensystems für eine gasdichte Bodenwasserprobennahme. Dies erfordert andere technische Lösungen, wie z.B. die konstruktive Gestaltung des Bodenwassersammelraumes analog einer Membranpumpe oder durch Anwendung des BAT-Schöpfer-Prinzips

Wick Sampler (passive Kapillarsammler)

Zielstellung: Linienhafte bzw. kleinflächige Entnahme von Bodenwasserproben zur Aufnahme der zeitlichen Entwicklung der Bodenwasserbeschaffenheit in Abhängigkeit des Kapillardruckes

Varianten



Wick Sampler mit waagerechter Platte Funktionsweise

- Kontinuierliche Saugwirkung durch hängende Wassersäule
- Hängende Wassersäule in einem Docht aus Glas-, Nylon- oder Cellulose-Acetat-Fasern (Kapillarwirkung)
- Saugspannung steigt mit vertikaler Dochtlänge (max. – 600 hPa)
- Sickerwasser wird durch (Glas-)fasern an Oberfläche der Platte aufgenommen und in Sammelbehälter geleitet
- Bei einer gasdichten Bodenwasserprobennahme wird das Sammelgefäß durch einen gasdichten Beutel ersetzt

Wick Sampler mit und ohne sorbierendem Medium (Testfläche) Funktionsweise

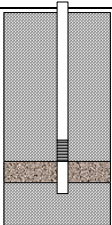
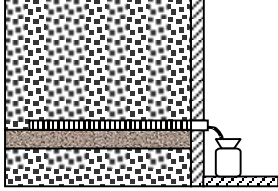
- Hängende Wassersäule in einem Docht aus Glas-, Nylon- oder Cellulose-Acetat-Fasern (Kapillarwirkung)
- Saugspannung steigt mit vertikaler Dochtlänge (max. – 600 hPa)
- Sorbierendes Medium (z.B. Aktivkohlengranulat, XAD-4-Harz) umschließt Docht
- Bodenwasser durch Docht angezogen durchdringt das sorbierende Medium (Aufnahme von Schadstoffen, z.B. PAK, PCB)
- Ableitung des Bodenwassers über Docht in Sammelbehälter, wobei das Wasservolumen zur Frachtermittlung messtechnisch zu erfassen ist.
- Ohne sorbierendes Medium ergeben sich analoge Eigenschaften wie bei der waagerechten Platte

Nachgewiesene Substanzen

- MC NAMARA & LUTHY (1999): **HOC** (hydrophobic organic compounds, z.B. PAK, PCB), **Metalle, anorg. Ionen**; Labor und Testflächen
- DONLON & SCHERBATSKOY (1996): Quecksilber und weitere **Schwermetalle**; Nähe Mt. Mansfield, USA
- COX et al. (1999): **P, DOC, Ca, K, Mg, Cl, Na, NO₃, S, Al, Fe, Zn**; Mt. Lofty Ranges, South Australia
- SEJUNTJENS et al. (2001) : **Schwermetalle**; Lommel, Belgien

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + „sanfte“ Saugwirkung durch hängende Wassersäule + gleichbleibende Saugspannung + Docht vergleichbar mit Bodenmatrix + einfache Konstruktion + geringe Kosten + keine Wechselwirkungen zwischen Docht und Bodenlösung + entgasungsarme Probenförderung + Wick Sampler mit waagerechter Platte: Gewinnung von Sickerwasser für bekannte Fläche (Bodensäule) + mittels Wick Sampler mit sorbierendem Medium Nachweis von HOC (hydrophobic organic compounds, z.B. PAK, PCB) und deren Menge in Relation zum Probenvolumen (keine Adsorption am Samplermaterial/ Entgasung/Biotransformation) + Preferential Flow nachweisbar (bei Verwendung mehrerer kleiner Plattensegmente) + einfache Dochtreinigung durch Erhitzen (ca. 400°C im Muffelofen) und Spülen (HCl, destilliertes Wasser) + zu vernachlässigender Lufteintrittspunkt (Docht) + Gewinnung von großem Probenvolumen (Wick Sampler mit waagerechter Platte) + für Monitoring sehr gut geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> - im deutschsprachigen Raum kaum bekannt - großer Aufwand bei Einbau (besonders Wick Sampler mit waagerechter Platte) - durch für den Einbau benötigten Graben erhebliche Störung des natürlichen Wasserhaushalts am Untersuchungsstandort - XAD-4-Harz in Trockenperioden nicht geeignet - Sickerwasserbypass möglich (bes. Wick Sampler mit sorbierendem Medium) - Abstimmung von Bodenmatrix und Docht u.U. schwierig - bei Platteneinsatz ganzflächiger Bodenkontakt schwer zu gewährleisten (Gegenmaßnahme: Einsatz von mehreren kleinen Plattensegmenten)

Sickerwassermessstellen

Zielstellung: Entnahme von frei perkolierenden Sickerwasserproben (ohne Anlegen eines Unterdruckes) oberhalb wasserstauender Bänder und Schichten bzw. im Bereich der Grundwasseroberfläche	
Varianten	
	
Vertikaler Ausbau - Funktionsweise <ul style="list-style-type: none"> • Sammlung des über der wasserstauenden Schicht aufstauenden Sickerwassers im Vollrohrbereich 	Horizontaler Ausbau analog einer Drainageleitung - Funktionsweise <ul style="list-style-type: none"> • Sammlung des über der wasserstauenden Schicht aufstauenden Sickerwassers in einem Probenahmegefäß • Analog einer Drainageleitung • Teilweise werden auch Trichterelemente bzw. Schalen, die mit einem Filter an der Kontaktfläche zum Boden ausgerüstet wurden, eingebaut
Nachgewiesene Substanzen	
<ul style="list-style-type: none"> • Analog Saugkerzen und Wick Sampler, jedoch ohne separatorbedingte Restriktionen • Analog Grundwassermessstellen 	
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> + Praktisch wird die Installationstiefe nur durch das Fördersystem und das zur Verfügung stehende Sickerwasservolumen begrenzt. Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Möglichkeit der Entwicklung einbaubedingter bevorzugter vertikaler Fließwege - Im Vergleich zum horizontalen Einbau eine geringere räumlich integrale Beprobungsmöglichkeit des Sickerwassers - Hohe Anforderungen an die vertikale Abdichtung der Sickerwassermessstelle im Bereich der wasserstauenden Schichten bzw. Bänder - Geringe Wartungsmöglichkeiten des Proben-sammelraumes - Hoher technischer Aufwand zur Verringerung von Beschaffenheitsveränderungen des Sickerwassers im Sammelraum (Oxidation, Fällung, mikrobieller Abbau,...) - Erhöhte Aufwendungen zur Absicherung einer gasdichten Sickerwasserprobenahme. <p>Sind keine wasserstauenden Schichten oder Bänder vorhanden, ist eine Sickerwasserbe-probung praktisch nicht möglich (Prinzip der Kapillarsperre)</p>	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> + Räumlich integrale Probenahme der Drainage-leitung über einen im Vergleich zur Saugkerze und Wick-Sampler größeren Kontrollbereich + Keine einbaubedingten bevorzugten vertikalen Fließwege + Einfache Möglichkeit der gasdichten Sicker-wasserprobennahme + Einfache Wartung und Betrieb der Anlage + Möglichkeit der wirtschaftlichen Installation mehrerer Sickerwassermessstellen in einem zu überwachenden Horizont Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Praktisch auf ca. 5 m unter Gelände begrenzte Installationstiefe - Sind keine wasserstauenden Schichten oder Bänder vorhanden, ist eine Sicker-wasserbe-probung praktisch nicht möglich (Prinzip der Kapillarsperre)

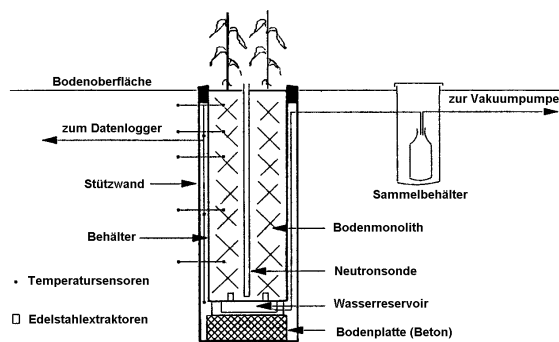
Feldlysimeter

Zielstellung:

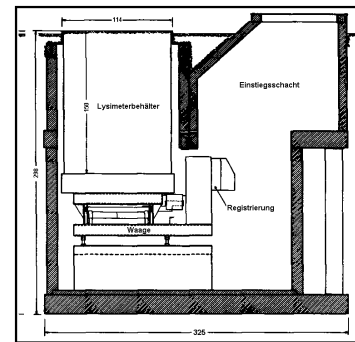
Bilanzierung des Zu- und Abstromes an einem Teilkörper des zu betrachtenden Untergrundes nach Menge und Beschaffenheit zur Aufnahme der zeitlichen Entwicklung der Boden- bzw. Sickerwasserbeschaffenheit entlang eines räumlich begrenzten Strömungsbereiches zur:

- Verbesserung des Verständnisses der im Bodenwasserbereich ablaufenden Migrationsprozesse (Prozessidentifikation) als Voraussetzung einer belastbaren Prognose der aus dem Bodenwasserbereich in den Grundwasserbereich eingetragenen Schadstofffrachten,
- Modellgestützten Übertragung der im Labormaßstab unter naturnahen Bedingungen, jedoch unter stationären und wassergesättigten Versuchsbedingungen ermittelten Migrationsparameter in den Feldbereich (Parameteridentifikation),
- Modellidentifikation und -verifikation.

Varianten



Unterdrucklysimeter mit Edelstahlextraktoren



Wägbare Lysimeteranlage

Unterdrucklysimeter

Mittels am Behälterboden angebrachter Separatoren (Saugkerzen, poröse Platte, Wick Sampler mit waagerechter Platte) und daran angelegten Unterdruck wird der Kapillardruck im unteren Bereich des Bodenmonolithen so eingestellt, dass der Wassergehalt den natürlichen Bedingungen entspricht. Das dabei gesammelte Sickerwasser wird beprobt und analysiert.

Vorteile:

- + Keine rückgestaute Versickerung.
- + Bei kapillardruckgesteuerter Sickerwasserentnahme sind die Ergebnisse aus Unterdrucklysimetern mit denen aus kapillardruckgesteuerten Saugkerzensystemen vergleichbar.
- + Eine gasdichte Sickerwasserprobenahme erfordert geringe Umbaumaßnahmen (s. Saugkerzenanlagen in horizontaler Bauweise und Wick Sampler mit waagerechter Platte).
- + Bei einer gasdichten Sickerwasserprobenahme können die aus der langen Beprobungszeit resultierenden Beschaffenheitsveränderungen der Sickerwasserprobe minimiert werden.
- + Bei Substitution der bekannten Separatoren durch eine hinsichtlich der kapillaren Eigenschaften angepassten Schüttung können die Einschränkungen gegenüber Untersuchungen des MKW-Transportes aufgehoben werden.

Nachteile:

- Einsatzbereich wird durch die aus dem Separatorenmaterial resultierende Beschaffenheitsveränderung der Sickerwasserprobe begrenzt (s. Saugkerzen und Wick Sampler).

Wägbare Lysimeter

Wie Standardlysimeter bzw. Unterdrucklysimeter, jedoch kontinuierliche oder zeitweise Wägung des Behälters zur Ermittlung von Wasserhaushaltskennwerten. Weitere Vor- und Nachteile ergeben sich analog des verwendeten Lysimetertyps (Standard- oder Unterdrucklysimeter).

Lysimeter wurden bisher eingesetzt für die Untersuchung des Migrationsverhaltens von:

- BÖHM & HÖSCH (1996): **Nitrat**
- KLOCKE (1991): **Nitrat, Pestizide**
- WITTRICH & WILSON (1991): **el. Leitfähigkeit, pH-Wert, Chlorid, Gesamtstickstoff** (nach Kjeldahl), **Nitrat, Nitrit, Ammonium, Sulfat, CSB und TOC** (luftdichtes Probennahmesystem mit Ventilen)
- CEPUDER et al. (1996); RUPP et al. (1996); WITTRICH & WILSON (1991): Bestimmung **Stickstoffaustrag**
- DOKOUPIL et al. (1996): Bestimmung **Nährstoffauswaschung**
- KLOCKE (1991), KRENN (1996): **Pestizide**
- SCHULZ & SEEGER (1996): **CKW**

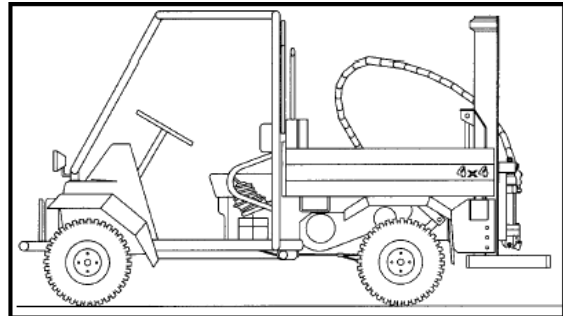
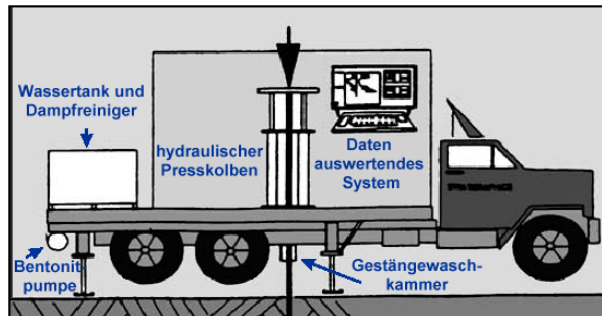
Direct-Push-Verfahren

Zielstellung:

Räumliche Erfassung der Schadstoffverteilung im Boden- und oberen Grundwasserbereich durch vertikal differenzierte:

- Beprobung des Bodens, der Bodenluft und des oberen Grundwasserbereiches oder/ und
- In-situ Messungen bzw. -analysen

Varianten



Cone Penetration Testing (CPT) – Fahrzeug

Funktionsweise

- Druckerzeugung durch hydraulischen Presskolben
- statischer Druck → Fahrzeugauflast (10 – 30 t) als Gegengewicht
- Sonden verschiedener Art werden mittels Druck in den Untergrund eingebracht
- Druckeinheit und auswertendes System im selben Fahrzeug

Fahrzeug mit dynamischem Perkussionshammer

Funktionsweise

- Druckerzeugung durch dynamische Kraftzufuhr
- Vortrieb: vibrierend, rotierend (optional)
- Fortbewegungsmittel für Perkussionshammer: z.B. Kettenfahrzeuge, Transporter, Geländewagen, Anhänger
- Sonden verschiedener Art werden in den Untergrund eingebracht

Bisher verwendete Sonden

- **Geotechnische Sonden:**
 - Lithostatische Drucksonden: **stratigraphischer Widerstand**
 - Hydrostatische Drucksonden: **Porenwasserdruck**
 - Leitfähigkeitssonden: **elektrische Leitfähigkeit**
 - Seismische Sonden : **akustische Wellen**
 - Radioaktive Sonden: **Strahlung**
- **Schadstoffdetektierende Sonden:**
 - Membran-Interface-Probe – (MIP): **MKW, LHKW und BTEX**
 - Rapid Optical Screening Tool – (ROST®): **MKW, PAK, Phenole und BTEX** → basierend auf dem Prinzip der laserinduzierten Fluoreszenz (LIF)
 - X-Ray-Fluorescence – (XRF): **anorganische Stoffe, z.B. Schwermetalle**
 - Laser Induced Breakdown Spectroscopy – (LIBS): **anorganische Stoffe**
 - Explosivstoffsensoren – (ES): **Sprengstoffe**
- **Videosonde: optische Analyse**
- **Sonden zur Probennahme: Boden-, Bodenluft- und Grundwasserproben (u.a. GeoWater®)**

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + zunehmend praktische Erfahrungen in Deutschland + kombinierbar mit zahlreichen Sondier- und Probennahmetechniken + genaue Charakterisierung des Untergrundes möglich (3-D) + Ausbau eines Direct-Push-Kanals zur Sicker- bzw. Grundwassermessstelle möglich + große Mobilität + schnelle Sondierung / Probennahme → für große Flächen geeignet + minimale Störung der natürlichen Bedingungen vor Ort + geringer Sondendurchmesser (ca. 3 – 4 cm) + Perkussionshämmer auf kleinstem Raum einsetzbar (z.B. in Gebäuden) + schnelle Datengewinnung + hohe Probenqualität + genaue Lokalisierung des Probennahmepunktes (im Gegensatz zu herkömmlichen Bohrungen) + Technologien zur automatischen Versiegelung des D.-P.-Kanals nach Push-Vorgang + kein Bohrgut an Erdoberfläche → keine kostenintensive Entsorgung des möglicherweise kontaminierten Bohrgutes nötig + genaue Lage des Grundwasserspiegels feststellbar (geotechnische Sonden) → lagegenaue Beprobung + gute Eignung zum qualitativen Nachweis flüchtiger organischer Substanzen (z.B. mittels ROST®- und MIP-Sonden) 	<ul style="list-style-type: none"> - nur im Lockergestein einsetzbar - technologiebedingte maximale Sondiertiefe zwischen 30 m (Perkussionshammer) und 60 m (CPT) - Heterogenität des Untergrundes (z.B. feste Zwischenschicht, größere Steine) kann Einsatz verhindern - relativ teuer (besonders für kleine Untersuchungsgebiete), jedoch nach Vergleich zum Erkenntnisgewinn meist wirtschaftlicher als alternative Verfahren - große Beanspruchung der Werkzeuge → hoher Verschleiß - CPT-Fahrzeug sehr schwer und groß → nicht in kleinflächigen Gebieten und auf sensiblen Oberflächen einsetzbar - Gefahr der Schadstoffverschleppung bzw. –verlagerung vor allem bei Schadstoffen in Phase (DNAPL bzw. LNAPL¹⁾) in einem Direct-Push-Kanal - bes. Perkussionshammer: Eintrag von Vibrationen während des Abteufens in den Untergrund und daraus resultierende Gefahr der Phasenmobilisierung (DNAPL bzw. LNAPL) - Kein Monitoringverfahren <p>1) DNAPL: Dense Non-Aqueous Phase Liquids : Flüssige Schadstoffphasen mit einer Dichte größer als Wasser</p> <p>1) LNAPL: Light Non-Aqueous Phase Liquids : Flüssige Schadstoffphasen mit einer Dichte geringer als Wasser</p>

Modellkonzepte zur Verlagerung des Sickerwassers als Voraussetzung zur Planung der Beprobung und Untersuchung

Dr. R.-J. Michel, Ing. -büro Boden und Bodenwasser, Bad Freienwalde

Die Sickerwasserprognose, also die Abschätzung der Verlagerung von Schadstoffen von einem Schadensherd in der Bodenzone zur Grundwasseroberfläche, ist lt. BBodSchV notwendiger Teil von Altlastenuntersuchungen. Wie der Begriff "Prognose" nahelegt, ist hiermit nicht nur die Bewertung der Situation des jeweiligen Untersuchungszeitpunktes, sondern einer "überschaubaren Zukunft" gefordert.

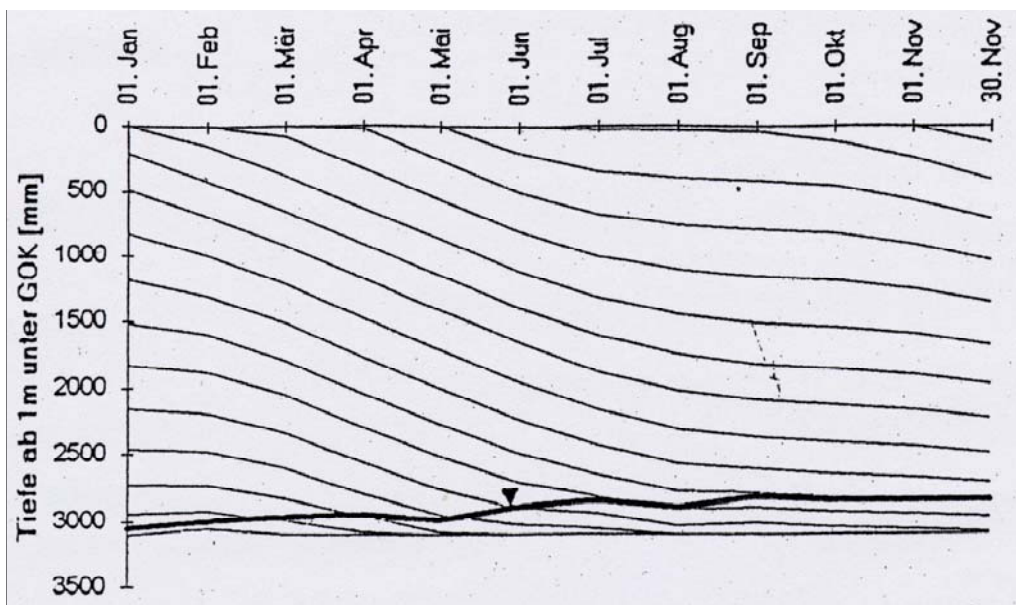
Zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser dienen In-situ-Untersuchungen, Materialuntersuchungen, Rückschlüsse oder Rückrechnung aus Untersuchungen im Grundwasserabstrom unter Berücksichtigung der Stoffkonzentrationen im GW-Anstrom und auch Stofftransportmodellierungen (UAG "Sickerwasser"). Die genannten Verfahren sind nicht nur als Alternativen zu sehen. Je nach Standort- und Schadstoffsituation kann auch eine Kombination mehrerer Verfahren sinnvoll sein. Nicht in jedem Fall ist eine Modellierung zur Abschätzung der derzeitigen oder zukünftigen Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung sinnvoll oder machbar. Immer jedoch braucht auch eine verbal - argumentative Abschätzung eine Systemvorstellung der Wasser- und Stoffausbreitungsprozesse am Standort.

In der Planung der Beprobung und Untersuchung von Altlasten können Modellergebnisse wesentliche Kriterien z.B. für vorzusehende Orte und Zeitpunkte von Beprobungen, notwendige Materialuntersuchungen, ergänzende Migrationsuntersuchungen sein.

Konzepte zur Modellierung der Verlagerung des Sickerwassers

Die eindimensionale (vertikale) Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone wird üblicherweise mit der RICHARDS- Gleichung beschrieben. Modelltechnisch ist dieser Ansatz vielfältig umgesetzt worden, i.d.R. mit numerischen Simulationsmodellen (z.B. HYDRUS, SIFRONT). Abbildung 1 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer solchen Berechnung. Wesentlich ist eine genaue Kenntnis des Bodenaufbaus (Saugspannungs- Wassergehalts- Funktion, Leitfähigkeits- Funktion). Auch hier sind mittlerweile Standardparameter verfügbar, die sich i.d.R. aus Horizont- Bodenart- Kombinationen der KA4 ableiten lassen (z.B. SCHINDLER et al., 2002). Außer den Bodenparametern gehen die Randbedingungen, z.B. Niederschlag, potenzielle Verdunstung, Pflanzenparameter und Grundwasserstand in die Berechnungen ein, i.d.R. in hoher zeitlicher Auflösung.

Abb. 1: Berechnete Sickerwasserfronten (Friedrichshagen, Bsp.)



Nicht berücksichtigt wird der sog. 'preferential flow', also die schnelle Wasserbewegung in sehr groben und tiefreichenden Poren und Rissen.

Zur Abschätzung der Sickerwasserbewegung unterhalb der Wurzelzone, also in einem Bereich relativ gleichbleibender Feuchte (Feldkapazität) und gleichmäßiger Sickerung, reicht es für praktische Fragen bei relativ einheitlichem Bodenaufbau oft, die Geschwindigkeit der Sickerwasserbewegung v_a mit der einfachen Formel

$$v_a = \frac{\text{GWN}}{\text{FK}}$$

GWN
GWN Grundwasserneubildung
FK
FK Feldkapazität

abzuschätzen. Zur Ermittlung der standortbezogenen Grundwasserneubildung existieren unterschiedliche Verfahren (z.B. RENGGER et al., 1989), die Feldkapazität lässt sich nach KA4 ermitteln.

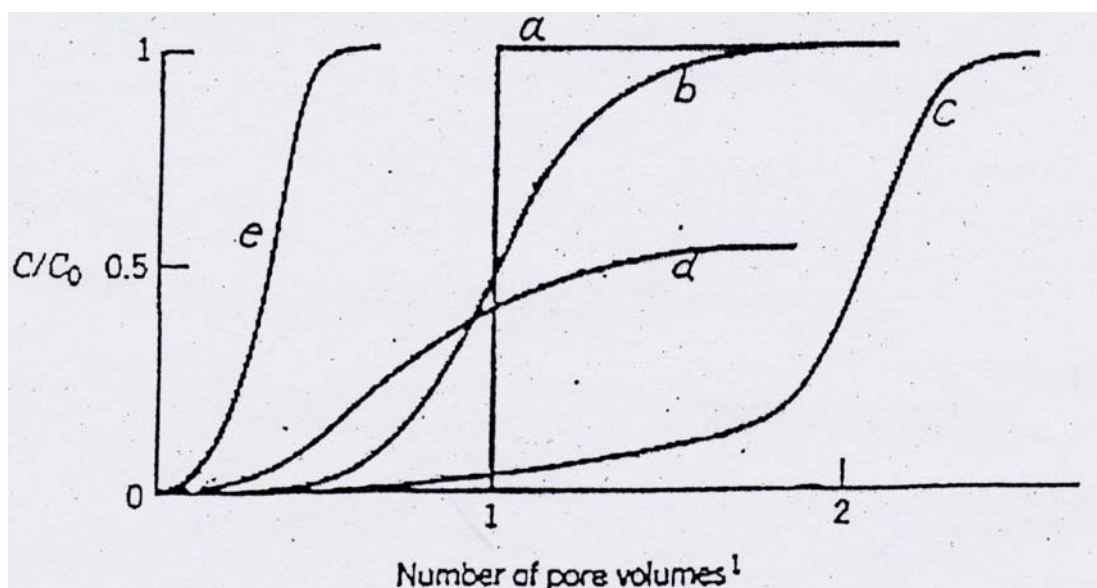
Konzept zur Modellierung der Verlagerung von Stoffen in der ungesättigten Bodenzone

Die Bewegung des Sickerwassers stellt eine wesentliche Komponente des Stofftransportes im Untergrund dar, die Advektion. Daneben spielen unter Gleichgewichtsbedingungen (s.u.) weitere Prozesse eine Rolle für die Verlagerungsgeschwindigkeit von Stoffen vom Schadensherd zum Grundwasser:

- Diffusion: Stoffausbreitung infolge von Konzentrationsunterschieden,
- Dispersion: "Vorausseilen" oder "Zurückbleiben" von gelösten Stoffen gegenüber der mittleren Sickerwassergeschwindigkeit infolge der Heterogenität des Porenraumes,
- Sorption: physiko-chemische Bindung von im Wasser gelösten Stoffen an die Gesteinsoberfläche,
- Stoffabbau und Stoffumbau: chemischer oder biochemischer Abbau/Umbau von im Wasser gelösten Stoffen.

Abbildung 2 zeigt schematisch die Wirkung der einzelnen Prozesse auf die Stoffausbreitung; (a) nur Advektion, (b) auch Diffusion/ Dispersion, (c) auch Sorption, (d) auch Stoffabbau, (e) wenn Kluft im Boden.

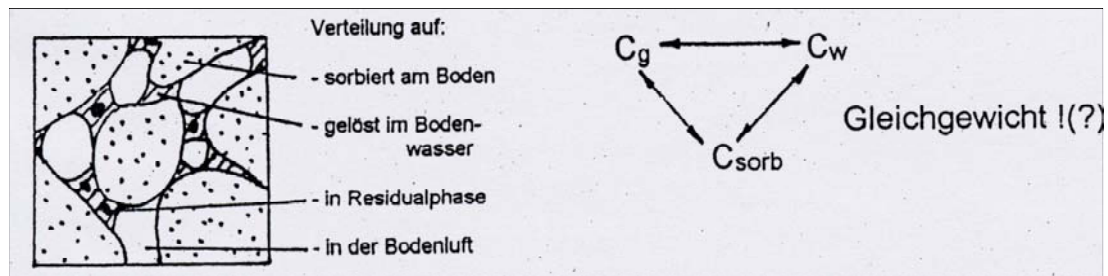
Abb. 2: *Relative Stoffkonzentrationen am unteren Rand einer Bodensäule unter Berücksichtigung unterschiedlicher Prozesse (Quelle: Domenico & Schwartz, 1990)*



Zur Gleichgewichtsbedingung bei der Verlagerung von Stoffen

Bei der Modellierung der Stoffverlagerung im Sickerwasserbereich wird oft von der Gleichgewichtsbedingung ausgegangen. Damit ist gemeint, dass die Stoffaustauschprozesse zwischen Bodenmatrix, Bodenwasser und Bodenluft so schnell erfolgen, dass hier ein Gleichgewicht herrscht (Abb. 3). Bei der relativ langsamen Wasserbewegung im Boden ist diese vereinfachende Annahme oft berechtigt.

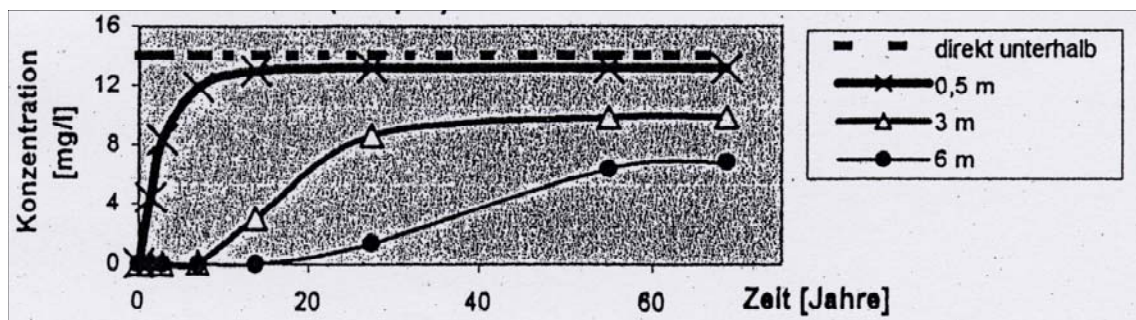
Abb. 3: Verteilung von organischen Schadstoffen in der Bodenzone (schematisch)



Unter diesen Bedingungen sind z.B. für organische Schadstoffe die wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Stoffverlagerung: Wasserlöslichkeit, Dampfdruck bzw. Henry-Konstante, K_{OC} - bzw. K_d -Wert (oder Retardationsfaktor), Abbaukoeffizient bzw. Halbwertszeit, Diffusions- Dispersionskoeffizient, v_a (s.o.). Für anorganische Schadstoffe, z.B. Schwermetalle, gelten z.T. andere Parameter, grundsätzlich ist das Modellkonzept jedoch weitgehend vergleichbar. Für viele Stoffe lassen sich die genannten Parameter in Zusammenhang mit dem Boden berechnen oder aus Tabellen ermitteln. Ansonsten müssen Laboruntersuchungen Aufschluss geben (z.B. Batch- oder Säulenversuche).

Zur Transportberechnung existieren unter Berücksichtigung der genannten Prozesse sowohl analytische Ansätze (s. z.B. DOMENICO u. SCHWARTZ, 1990) wie auch numerische Berechnungsmodelle, z.B. die Modelle HYDRUS, COTREM, PHREEQC, SIFRONT. Diese Modelle sind z.T. frei verfügbar (Internet). Das Ergebnis eines mit einem einfachen analytischen Ansatz berechneten Stofftransportprozesses zeigt Abbildung 4.

Abb. 4: Berechneter Konzentrationsverlauf von Pentachlorphenol im Sickerwasser in unterschiedlichen Tiefen unterhalb eines Schadensherdes (Beispiel)



Zur Berücksichtigung von Ungleichgewichtsbedingungen

Finden die Stoffaustauschprozesse zwischen Bodenmatrix, Bodenwasser und Bodenluft im Ungleichgewicht statt (bei schneller Versickerung bzw. sehr langsamen physiko-chemischen Reaktionen), muss das vorgestellte Modellkonzept erweitert werden (Stichwort 'Reaktionskinetik'). Damit erhöht sich der Anspruch an Laboruntersuchungen (Parameter) und an Modelle. Auch hier sind sowohl numerische Modelle verfügbar (z.B. COTREM) als auch spezifische Ansätze (Berechnungsmethoden, Nomogramme) zur Berücksichtigung der relevanten Prozesse (z.B. GRATHWOHL, 1992; SCHNEIDER u. STÖFEN, 2002).

Literaturverzeichnis

- SCHNEIDER, W. u. H. STÖFEN: Relevanz des Quellterms bei der Sickerwasserprognose. Bodenschutz 4(2002), S. 130 - 140
- GRATHWOHL, P.: Die molekulare Diffusion als limitierender Faktor bei der Sanierung von Boden- und Grundwasserkontaminationen. Z. Umweltchem. Ökotox. 4 (1992) 4, S. 231 - 236
- DOMENICO, P. u. F. SCHWARTZ: Physical and chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York 1990, 506 p.
- KA4: Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover 1994, 392 S.
- RENGER, M. et al.: Modelle zur Ermittlung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima, Bodeneigenschaften und Nutzung. FZ Jülich GmbH (FFA- Bericht), 1989, 138 S.
- UAG "Sickerwasser" der Staatlichen Geologischen Dienste: Handlungsempfehlungen zur Sickerwasserprognose für die Bewertung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser - Grundzüge. Z. angew. Geol. 47(2001), S. 138 – 145
- SCHINDLER, U. et al.: Ableitung bodenhydrologischer Kennwerte für heterogene Flächeneinheiten Nordostdeutschlands auf der Grundlage des Flächentypenkonzeptes zur MMK. Landnutzung u. Landentwicklung 43 (2002)6, S. 262 - 268

Literaturhinweise

Prozesse und Modellen

- LUCKNER, SCHESTAKOW: Migration Processes in the Soil and Groundwater Zone (früher: Migrationsprozesse im Boden- und Grundwasserbereich)
- VOIGT, H.-J.: Hydrogeochemie
- BUSCH, LUCKNER u. THIEMER: Geohydraulik
- REINSTORF, SUSSET, MARRE, GRATHWOHL u. WALTHER: Modelle zur Sickerwasserprognose. Bodenschutz 1 (2001), S. 18-24 (Übersichtsartikel mit Modellvergleich)
- (DOMENICO, P. u. F. SCHWARTZ: Physical and chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York 1990, 506 p.)

Parameter

- KA4: Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover 1994
- BAUMGARTEN, MÖBES, SCHNEIDER, SCHRAPS u. SIEM: Ergänzung der KA4 und stadtbodenspezifische Besonderheiten. Stand März 2000
- SCHINDLER, U. et al.: Ableitung bodenhydrologischer Kennwerte für heterogene Flächeneinheiten Nordostdeutschlands auf der Grundlage des Flächentypenkonzeptes zur MMK. Landnutzung u. Landentwicklung 43 (2002)6, S. 262 – 268
- RIEK, WESSOLEK, RENGER u. VETTERLEIN: Luftkapazität, nFK und FK – eine statistische Auswertung von Laboratenbanken. Z. Pflanzenern. Bodenkd. 158 (1995), S. 485-491
- BOHNE, HÖRN u. BAUMGARTL: Bereitstellung von van- Genuchten-Parametern zur Charakterisierung der hydraulischen Bodeneigenschaften. Z. Pflanzenern. Bodenkd. 156 (1993), S. 229-233
- SCHWARZENBACH et al.: Environmental organic chemistry SPITZ & MORENO, 1998 (sehr umfangreiches Datenmaterial zu stoffbezogenen Parametern)

**Ministerium für Landwirtschaft,
Umweltschutz und Raumordnung
des Landes Brandenburg**

Landesumweltamt Brandenburg
Referat Öffentlichkeitsarbeit

Berliner Straße 21-25
14467 Potsdam
Tel: (03 31) 23 23 259
Fax: (03 31) 29 21 08
E-Mail: info@lua.brandenburg.de
www.brandenburg.de/lua