

02.16 Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone (Ausgabe 2004)

Problemstellung

Dem Schutz des Grundwassers als natürliche Ressource ist größte Bedeutung beizumessen, da das Grundwasser die Basis der Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ gutem Trinkwasser bildet und damit eine entscheidende Lebensgrundlage darstellt.

Eine erste Voraussetzung für den Grundwasserschutz ist der Schutz des Bodens und der ungesättigten Zone (zusammengefasst im Begriff der Grundwasserüberdeckung) vor Kontaminationen, denn die Versickerung von Schadstoffen von der Erdoberfläche in den Boden und weiter ins Grundwasser stellt die Hauptkontaminationsquelle für die Grundwasserressourcen dar.

Die Charakterisierung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers gegenüber von der Erdoberfläche eindringenden Schadstoffen ist daher eine wichtige Grundlage für Planungen und Maßnahmen im Hinblick auf einen vorsorgenden Grundwasserschutz und für prognostische Aussagen über potenzielle Gefährdungen von Grundwasservorkommen, wie sie u.a. für die Berichterstattung im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie WRRL (EU 2000) gefordert sind.

Grundsätzlich ist das Grundwasser überall empfindlich gegenüber von der Oberfläche eingetragenen Schadstoffen. Räumliche Unterschiede in der Verschmutzungsempfindlichkeit ergeben sich jedoch aus den unterschiedlichen Zeiten, die von der Erdoberfläche eingetragene Stoffe benötigen, um ins Grundwasser zu gelangen und dort u.U. Kontaminationen zu verursachen. Die Verschmutzungsempfindlichkeit eines Grundwasservorkommens lässt sich deshalb beschreiben als die Wahrscheinlichkeit, mit der ein bestimmter Anteil eines Schadstoffes in einer bestimmten Zeit das Grundwasser erreicht bzw. erreichen kann.

Zur Definition und Einschätzung der Grundwasserverschmutzungsempfindlichkeit liegen verschiedene Ansätze und Methoden vor. Neben dem Begriff der "Verschmutzungsempfindlichkeit der Grundwassers" wird der Begriff "Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung" gebraucht, wobei eine hohe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung eine geringe Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers bedeutet und umgekehrt.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen einer intrinsischen und spezifischen Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers bzw. Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.

Die **intrinsische ("dem Standort innewohnende") Verschmutzungsempfindlichkeit** bezieht sich ausschließlich auf die natürlichen Eigenschaften der Grundwasserüberdeckung. Sie kann in Anlehnung an VOIGT ET AL. (2003) als "worst case Szenario eines Schadstoffeintrages in die ungesättigte Zone, bei der keine Wechselwirkungen des Schadstoffes mit den Medien in der ungesättigten Zone stattfinden" betrachtet werden. Die intrinsische Verschmutzungsempfindlichkeit kann auf der Grundlage der Sickerwassergeschwindigkeit bzw. Verweilzeit des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung eingeschätzt werden.

Die **spezifische Verschmutzungsempfindlichkeit** bezieht den Eintrag von spezifischen (Schad-) Stoffen an der Erdoberfläche mit ein. Die spezifische Verschmutzungsempfindlichkeit ist daher immer im Hinblick auf eine bestimmte Nutzung bzw. einen von dieser Nutzung ausgehenden potenziellen oder realen Schadstoffeintrag in das Grundwasser zu betrachten. Dabei spielen nicht nur die geologisch-hydrologischen Randbedingungen, sondern vor allem das spezifische Verhalten des zu betrachtenden (Schad-) Stoffes bzw. der zu betrachtenden (Schad-) Stoffgruppen und deren potenziell oder real freigesetzte Mengen eine Rolle. Die spezifische Verschmutzungsempfindlichkeit kann je nach Schadstoff am selben Standort bei gleicher intrinsischer Verschmutzungsempfindlichkeit durchaus sehr unterschiedlich sein.

Faktoren, welche die Verschmutzungsempfindlichkeit bestimmen, sind:

- Die Mächtigkeit der **Grundwasserüberdeckung**, d.h. die Tiefe, in der sich das Grundwasser unter der Oberfläche befindet; die geologisch-lithologischen und die geochemischen Eigenschaften der auftretenden Böden und Gesteine mit ihren Bestandteilen, welche die Wasserleitfähigkeit, das

Wasserrückhaltevermögen (durch kohäsive Bindung an Bodenbestandteilen) und das Adsorptionsvermögen für bestimmte Stoffe bestimmen.

- Die **Sickerwassermenge**, die in die Grundwasserüberdeckung eindringt und der Anteil des Sickerwassers der letztlich dem Grundwasser zufließt (**Grundwasserneubildung**), da Stoffe in der ungesättigten Zone über das Sickerwasser ins Grundwasser verlagert werden. Sickerwassermenge und Höhe der Grundwasserneubildung sind abhängig von den klimatischen Größen Niederschlag und Verdunstung sowie vom geologischen Aufbau der ungesättigten Zone, der Oberflächenmorphologie, der Bodennutzung und der Oberflächenversiegelung.
- Der **Aufbau der grundwasserführenden Gesteine** unterhalb der Grundwasseroberfläche (Grundwasserleiter und Grundwasserhemmer), ihre Dimension und Mächtigkeit, ihre geologisch-lithologischen/geochemischen (und in Zusammenhang damit ihre physikalischen) Eigenschaften wie die nutzbare Porosität und die Wasserleitfähigkeit sowie schließlich das Grundwassergefälle und die Grundwasserfließrichtung. Diese Parameter bestimmen, wie sich Wasser und gelöste Stoffe, nachdem sie ins Grundwasser gelangt sind, im Untergrund ausbreiten können.
- Im Fall der spezifischen Verschmutzungsempfindlichkeit zusätzlich die **spezifischen chemisch/physikalischen Eigenschaften von Schadstoffen** wie z.B. der Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig), die Löslichkeit in Wasser, die Abbaubarkeit durch chemische oder biochemische Prozesse und die ökologisch/toxikologischen Eigenschaften.

Während die allgemeinen Zusammenhänge zwischen klimatischen, pedologischen, geologischen und hydrogeologischen Bedingungen und der Grundwasserverschmutzungsempfindlichkeit recht einfach erscheinen, ist die Quantifizierung der Prozesse, die die Grundwasserverschmutzungsempfindlichkeit im einzelnen determinieren, recht kompliziert und erfordert in der Regel eine sehr umfassende Datenbasis und vielfach komplexe Methoden.

Als Anhaltspunkt für die Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers ist aus den Kenngrößen zur Mächtigkeit und den Eigenschaften der Grundwasserüberdeckung sowie der Grundwasserneubildungsrate die Verweilzeit des Sickerwassers als Maß für die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung abgeleitet und in vorliegender Karte dargestellt worden.

Datengrundlage

In die Berechnung der Verweilzeit des Sickerwassers gehen eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Daten ein. Es handelt sich zum einen um geologisch-pedologische Daten (räumliche Verbreitung von Boden- und Gesteinsarten, boden- und gesteinsphysikalische Kennwerte) zum anderen um hydrologisch-hydrogeologische Daten (räumliche Verteilung von Sickerwassermengen, Grundwasserneubildungshöhen, Flurabstand der Grundwasseroberfläche).

Berücksichtigt wurden im einzelnen:

- Geologische Übersichtskarte von Berlin und Umgebung 1:100.000 GÜK 100, (LGRB und SenStadt 1995)
- Hydrogeologischer Schnitte aus dem Geologischen Atlas von Berlin (SenStadt 2002),
- Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe, (SenStadt)
 - Karte 01.01 Bodengesellschaften, 1:50 000 (1998),
 - Karte 01.06.1 Bodenarten, 1:50 000 (2002),
 - Karte 02.07 Flurabstand des Grundwassers, 1:50 000 (Neuerstellung 2003),
 - Karte 02.13.5 Grundwasserneubildung, 1:50 000 (Neuerstellung 2003),
- Bodendatenbank des Informationssystems Stadt und Umwelt (SenStadt),
- Daten von ca. 33.000 Bohrungen aus dem Archiv der Landesgeologie Berlin,
- Karte zur Charakterisierung der Deckschichten nach WRRL 1:100.000 (SenStadt 2002).

Methode

In der Karte ist die Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone als Maß für die **intrinsische Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers** dargestellt. Die Ausweisung der spezifischen Verschmutzungsempfindlichkeit erfordert die Berücksichtigung konkreter Schadstoffe,

Schadstoffmengen und Nutzungen, was eher für konkrete und detaillierte Standortuntersuchungen als für großräumige Darstellungen sinnvoll ist.

Berechnet wurde die mittlere Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone, d.h. die Zeitdauer, die das Sickerwasser benötigt, um unter dem Einfluss der Schwerkraft von der Erdoberfläche bis zur Grundwasseroberfläche zu gelangen. Ein Verfahren, welches die Abschätzung dieser Verweilzeit auf der Basis vorhandener klimatisch-hydrologischer und geologisch-pedologischer Daten gestattet, wurde an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus entwickelt (BTU-Methode) (HEINKELE et al. 2000, VOIGT ET AL. 2003). Die Berechnung der Sickerwassergeschwindigkeit und der Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone erfolgt dabei in Anlehnung an die DIN 19732 "Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbiebaren Stoffen". Diese Methode der DIN 19732 ist ursprünglich zur Bewertung lokaler Standorte gedacht, ist aber bei Modifizierung (s.u.) auch für großräumliche Betrachtungen geeignet.

In die Ermittlung der Verweilzeit des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung gehen die folgenden Parameter ein:

- die Grundwasserneubildung
- die Feldkapazität der Grundwasserüberdeckung
- die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung.

Die **Grundwasserneubildung** wird aus der Sickerwasserrate abgeleitet und stellt die Wassermenge dar, die das Grundwasser erreicht und die Grundwasservorräte ergänzt (s. Karte 02.13.5).

Unter der **Feldkapazität** versteht man die Menge an Wasser, die in der ungesättigten Bodenzone aufgrund von Kohäsions- und Kapillarkräften adsorbiert ist und gegen die Schwerkraftwirkung gehalten werden kann (also nicht unmittelbar versickert). Es handelt sich dabei vor allem um Wasser in Poren mit Radien $<50 \mu\text{m}$. Diese Wassermenge lässt sich als Bodenfeuchte in Volumenprozent des Bodens angeben. Diese Feldkapazität ist von den Bodenarten abhängig. Die Zuweisung der Feldkapazitäten zu den Bodenarten erfolgt entsprechend der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 4 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 1994). Feinkörnige Böden verfügen über eine hohe Feldkapazität (z.B. ein Ton zwischen 40% und 54%), grobkörnige Böden dagegen nur über eine geringe (z.B. ein grob- bis mittelkörniger Sand zwischen $<10\%$ und 13%). In feinkörnigen Böden kann daher eine größere Menge an Sickerwasser adsorbiert und gespeichert werden. Eine Verlagerung des Sickerwassers durch die Schwerkraft erfolgt erst bei Wassergehalten über der Feldkapazität.

Die **Feldkapazität der Grundwasserüberdeckung** ist das Wasser, das auf diese Weise in der gesamten ungesättigten Zone adsorbiert und zurückgehalten werden kann. Sie lässt sich aus den Angaben zur Verbreitung der Bodenarten und Gesteine in Bodenkarten, geologischen Karten und den Ergebnissen von Bohrungen unter der Berücksichtigung der Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung flächenhaft bestimmen.

Die **Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung** entspricht dem Flurabstand des Grundwassers und ist unter Berücksichtigung der Besonderheiten von ungespannten und gespannten Grundwasserverhältnissen unmittelbar aus entsprechenden Kartenwerken ableitbar. Die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung wurde der Karte 02.07 "Flurabstand" des Umweltatlas entnommen und bezieht sich auf den jeweils oberflächennahen Grundwasserleiter (GWL) mit dauerhafter Wasserführung. Dabei handelt es sich zumeist um den in Berlin wasserwirtschaftlich genutzten Hauptgrundwasserleiter (GWL 2 nach der Gliederung von Limberg und Thierbach 2002), der im Urstromtal unbedeckt, im Bereich der Hochflächen jedoch bedeckt ist. In einzelnen Bereichen wurde entsprechend dem Flurabstandsplan der GWL 1 (z. B. im Gebiet des Panketales) bzw. der GWL 4 (tertiäre Bildungen) bewertet.

Die Verweilzeit t_s des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung (und damit der Zeitraum in dem sich das Wasser von der Erdoberfläche bis zum Grundwasser bewegt) kann aus der Grundwasserneubildung, der Mächtigkeit und der Feldkapazität der der Grundwasserüberdeckung nach der folgenden Gleichung (VOIGT ET AL., 2003) abgeleitet werden:

$$t_s = \sum M_i * FK_i / \text{GWNB} = (M_1 * FK_1 + M_2 * FK_2 + \dots + M_n * FK_n) / \text{GWNB}$$

dabei ist:

t_s	Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone
GWNB	Grundwasserneubildungsrate in mm/a
FK	Feldkapazität der gesamten Grundwasserüberdeckung in % bzw. mm/dm

- $FK_1, FK_2 \dots FK_n$ Feldkapazität der 1,2...n-ten Schicht des Bodens bzw. der tieferen Grundwasserüberdeckung in mm/dm,
- M Mächtigkeit der gesamten Grundwasserüberdeckung in dm
- $M_1, M_2 \dots M_n$ Mächtigkeit der 1,2...n-ten Schicht des Bodens bzw. der tieferen Grundwasserüberdeckung in dm.

Das folgende Ablaufschema (Abb.1) verdeutlicht die Ermittlung der Verweilzeit auf der Basis der genannten Datengrundlagen.

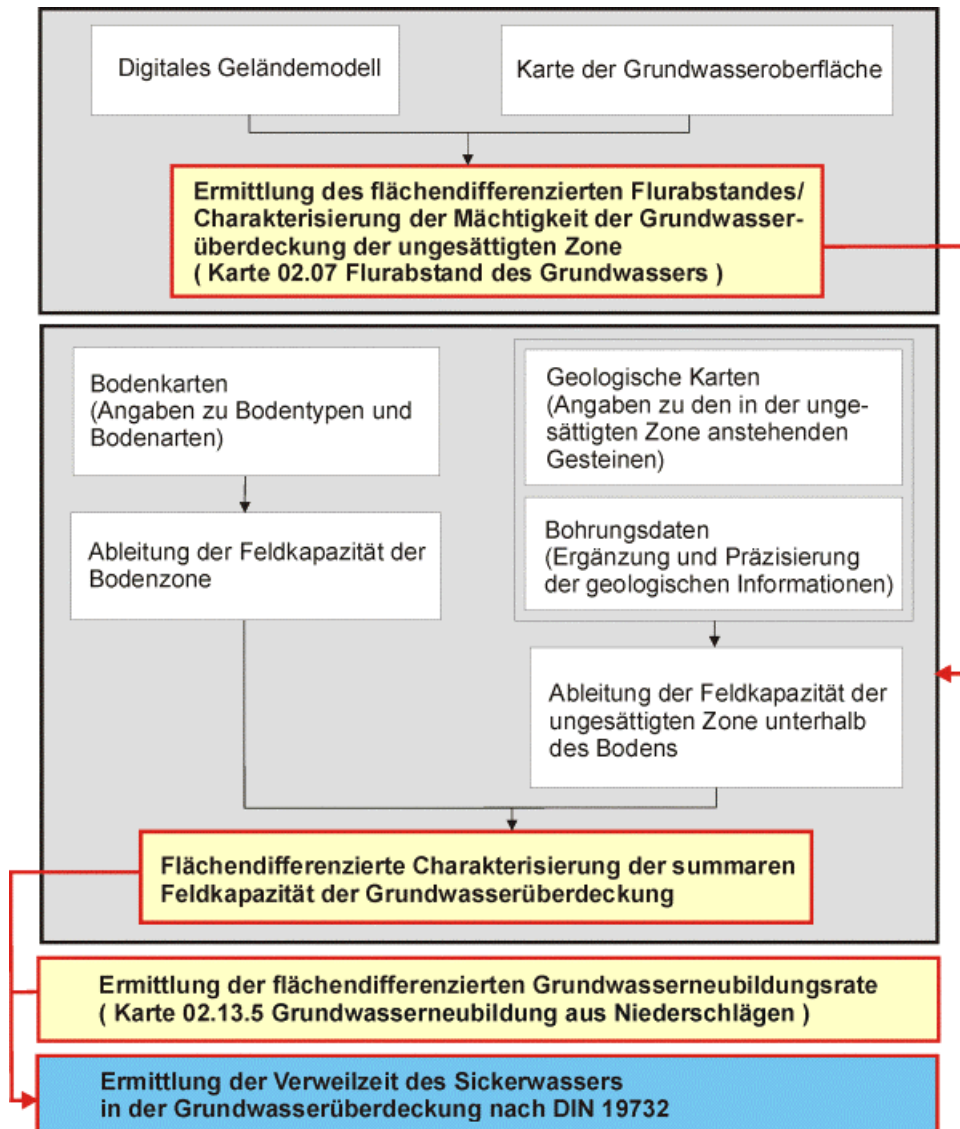


Abb. 1: Fließschema zur Ermittlung der Verweilzeit des Sickerwassers

Die folgenden Einschränkungen für die Gültigkeit der auf der Grundlage der o.g. DIN 19732 berechneten Verweilzeiten sind zu beachten (modifiziert nach DIN 19732):

- Die berechnete mittlere Verlagerungsgeschwindigkeit beschreibt den Massenschwerpunkt einer Verlagerungsfront. Der durch hydrodynamische Dispersion verursachte voraus- oder nachteilige Stofffluss kann nicht berechnet werden.
- Die Berechnung gelten für weitgehend homogenen Untergrundaufbau. Der Einfluß stärkerer Heterogenitäten des Untergrundes, wie stark wechselnder Schichtaufbau und insbesondere bevorzugte Fließwege (Prozesse des Makroporenflusses und des *preferential flow*) können nicht berücksichtigt werden.

Kartenbeschreibung

Die vorliegende Karte stellt die aus dem Grundwasserflurabstand, dem Aufbau der Deckschichten und der Grundwasserneubildung nach dem dargestellten Verfahren für den oberflächennahen, dauerhaft wasserführenden Grundwasserleiter abgeleitete Verweilzeit des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung dar und kann als Maß für die intrinsische Verschmutzungsempfindlichkeit betrachtet werden. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diese Karte aufgrund des Bearbeitungsmaßstabes von 1:50.000 (bedingt durch den Maßstab der Datengrundlagen s.o.) vor allem für großräumliche Betrachtungen geeignet ist. Für die exakte Bewertung von Detailflächen sind kleinmaßstäbliche Untersuchungen nötig.

Im folgenden wird nach einer allgemeinen Beschreibung der im Berliner Raum in der Grundwasserüberdeckung auftretenden Gesteine, die ganz überwiegend pleistozäne, d.h. eiszeitliche Bildungen sind, die Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers für die geomorphologischen Einheiten Berlins beschrieben.

Allgemeine Beschreibung der pleistozänen Bildungen

Der letzte Zeitabschnitt des Tertiärs (Pliozän) zeigte durch eine starke Abkühlung des Gebietes um den nördlichen Pol den Übergang zum Eiszeitalter (Pleistozän) an. Durch große Niederschlagsmengen in Skandinavien kam es zur Bildung von Gletscherströmen, die sich nach Süden bewegten, dabei die vorhandene Erdoberfläche erodierten und große Mengen von Gesteinsmaterial aufnahmen. In Mittel- und Nordeuropa konnten drei große Eisvorstöße, die durch Bildungen von Warmzeiten getrennt sein können, lokalisiert werden (Elster-, Saale- und Weichseleiszeit). Der Rückzug des Eises erfolgte durch Abschmelzen infolge einer Klimaerwärmung. Folgende Landschaftsformen wurden durch die Vor- und Rückzugsphasen des Eises geschaffen:

Grundmoräne: an Gletschersohle aufgearbeitetes Gesteinsmaterial als unsortiertes Gemisch aus Ton, Schluff und Sand (Geschiebemergel, Geschiebelehm) und nicht aufgearbeitete Gesteinsblöcke (Geschiebe in der Geschiebemergelmasse). Der feinkörnige Anteil (Schluff, Ton) erreicht im allgemeinen Gewichtsanteile von 20% bis zu mehr als 60%. Die Ablagerung des Materials erfolgte beim Aus- und Abschmelzen der Gletscher.

Endmoräne: gebildet durch vor dem Eis transportiertes grobes Gesteinsmaterial (Gesteinsblöcke); bei Gleichgewicht von Nachschub und Abschmelzen des Eises (Stillstand der Inlandeisrandlage) erfolgt über längere Zeit Aufschüttung von häufig groben Blockpackungen nordischen Gesteinsmaterials, aber auch von Kiesen und Sanden, zum Teil auch von tonigem Material. Die Ablagerung erfolgte an den Stirnseiten und Randlagen der Gletscher.

Sander: durch Schmelzwässer (stammen vom Eisrand, aber auch von der Gletscheroberfläche) aus Endmoräne ausgewaschenes kiesiges und vor allem grob- und mittelsandiges Material, das vor dem Gletscher abgelagert wird.

Urstromtal: Abflußgebiet der Schmelzwässer. Verbreitet sind im allgemeinen Sande verschiedener Körnungen. Im allgemeinen feinkörniger als Sanderflächen. In den nacheiszeitlichen Erwärmungsperioden werden in den Tälern häufig Materialien mit hohen organischen Anteilen abgelagert (Mudden und Torfe).

Innerhalb der drei großen Eisvorstöße erfolgten mehrere Vorstoß- und Rückzugsphasen (z. B. werden in der Weichseleiszeit drei Phasen unterschieden: die Brandenburger, die Frankfurter und die Pommersche Phase) mit oben beschriebener glazialer Abfolge. Dadurch kam es zur Überlagerung mehrerer glazialer Abfolgen mit den entsprechenden Bildungen.

Die Spaltung des Gletschers in viele Gletscherströme mit entsprechender Abfolge bewirkte zusätzlich eine Verschachtelung der glazialen Formen, so daß es in Gebieten mit kleinräumigen glazialen Landschaftsformen oft schwer ist, die Bildungen eindeutig genetisch zuzuordnen.

Vor allem die Grundmoränenlandschaft ist noch stärker in sich gegliedert. Als Ergebnis der Schmelzwassertätigkeit entstanden zum einen Seen verschiedener Formen, zum anderen unterschiedliche Ablagerungsformen von im Eis enthaltenem Gesteinsmaterial. Der Abfluß von Schmelzwasser in Eisspalten des Gletschers schuf tiefe, schmale Rinnenseen (z.B. Grunewald-Seenkette, Havel-Seenkette); die Erosionstätigkeit von ehemaligen Eiszungen des Inlandeises liegt den oft breiten und tiefen, langgestreckten Zungenbeckenseen zugrunde. Ausschmelzende Toteisschollen (vom abschmelzenden Inlandeis abgetrennte Eisblöcke) schufen abflußlose wassergefüllte Senken (Sölle, Pfuhe). Beim Abschmelzen des Eises auf der Grundmoräne zurückgebliebenes Gesteinsmaterial (Sande, Kiese, Blöcke) aus intraglazialen Rinnen und Kolkstrukturen bildete Oser und Kames (geschichtete Sand- und Kiesablagerungen in Eisspalten und

Geröllhügel). Das sich bewegende Eis schuf beim Überfahren älterer, bereits abgelagerter Sedimente Drumlins (elliptische Geröllhügel mit einem Kern aus Geschiebemergel).

Diese verschiedenen geologischen Bildungen weisen unterschiedliche Korngrößen und Kornzusammensetzungen auf. Daraus resultieren sehr unterschiedliche Feldkapazitäten und Wasserleitfähigkeiten. Diese beeinflussen zum einen die Feldkapazität (und damit das Wasserspeichervermögen) der Grundwasserüberdeckung, aber auch die Grundwasserneubildung (s. Karte 02.13.5) und den Flurabstand (ungespannte überwiegend sandige Talgebiete, gespannte Geschiebemergel-Hochflächen). Die Verweilzeit des Sickerwassers hängt eng mit der Verbreitung dieser Bildungen zusammen.

Mittlere Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone

Die nach der BTU-Methode berechneten Verweilzeiten reichen von weniger als einem Jahr bis über 200 Jahre und sind räumlich stark differenziert.

Die Flächenanteile der verschiedenen Verweilzeitklassen zeigt die Tab. 1. Es lassen sich nach den Flächenanteilen zwei Maxima voneinander unterscheiden, einmal im Bereich von Verweilzeiten zwischen 3 und 10 Jahren mit einer generell hohen Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers und zum anderen Bereiche mit Verweilzeiten von mehr als 25 bis 100 Jahren, die eine geringere Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers aufweisen. Diese repräsentieren die zwei hauptsächlichen geologisch-morphologischen Strukturen im Raum Berlin: die Täler und Niederungen (das Berliner Urstromtal und seine Nebentäler, wie das Panketal) sowie die Hochflächen (Grundmoränenflächen des Barnims, des Teltows, Kamesbildungen der Havelberge).

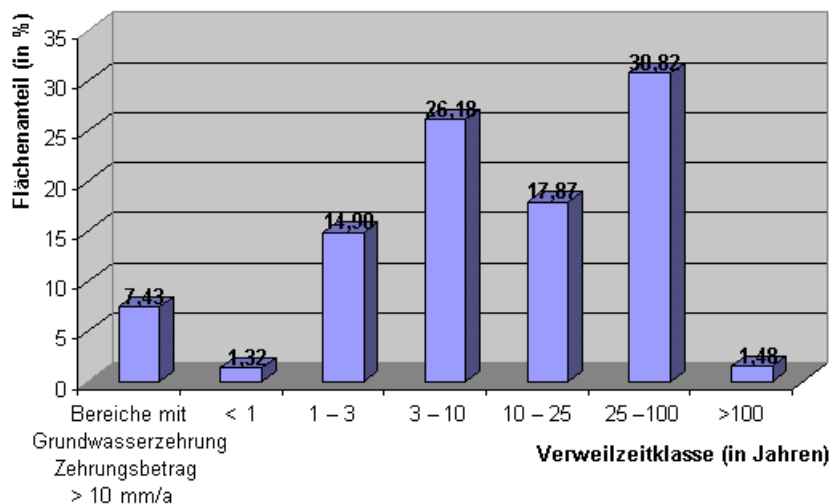


Abb. 2: Flächenanteile der Verweilzeitklassen für das Land Berlin

In den Talbereichen (z.B. Warschau-Berliner Urstromtal, Tal der Panke) werden überwiegend Verweilzeiten von <1 bis 5 Jahren erreicht. Diese kurzen Verweilzeiten sind vor allem auf die überwiegend geringen Flurabstände zurückzuführen. Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist als gering und die Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers überwiegend als hoch einzustufen, da eine Stoffverlagerung ins Grundwasser innerhalb weniger Jahre erfolgen kann. In weiteren in die Hochflächen eingesenkten Talstrukturen wie dem Wuhletal, einer Schmelzwasserrinne auf der Barnimhochfläche finden sich sehr engräumig ebenfalls Bereiche mit hoher Verschmutzungsempfindlichkeit.

In den Niederungen ist in Bereichen mit besonders flurnahem Grundwasser (<1,5m) in der Jahresbilanz z.T. eine Grundwasserzehrung zu beobachten, d.h. in den Sommermonaten wird dem Grundwasser durch Pflanzen und Verdunstung mehr Wasser entzogen, als im gesamten Jahr durch Sickerwasser zufließt also neu gebildet wird. Diese Gebiete sind aufgrund der geringen Flurabstände als sehr sensible Flächen einzuschätzen. Zudem finden sich hier z.T. ökologisch bedeutsame Feuchtgebiete.

Auf den Hochflächen des Barnims, des Teltows und der Havelberge werden überwiegend Verweilzeiten von >20 Jahren bis zu z.T. über 100 Jahren berechnet. In diesen Bereichen ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung generell als hoch einzuschätzen. In Teilbereichen der Teltow-Hochfläche, unmittelbar östlich der Nordost-Südwest verlaufenden Teufelssee-Pechsee-

Barssee-Rinne sind geringere Verweilzeiten zwischen 5 und 15 Jahren und damit eine erhöhte Verschmutzungsempfindlichkeit zu verzeichnen.

Verweilzeiten von > 25 Jahren wurden für die aus bindigen, schluffig-tonigen Material aufgebauten Bereiche innerhalb der Hochflächen des Barnim und des Teltow ermittelt, aber auch für die nach der Geologischen Karte weitgehend als mit Sanden bedeckten Flächen der Havelberge und der Nauener Platte. Die langen Verweilzeiten in den sandigen Gebieten sind einerseits durch die sehr hohen Mächtigkeiten der Grundwasserüberdeckung bedingt. Daraus ergeben sich, trotz hoher Sandanteile in der Grundwasserüberdeckung, hohe bis sehr hohe (Gesamt-) Feldkapazitäten. Andererseits kann der Bodenartenklasse der Sande, je nach Körnung eine weite Spanne von Feldkapazitäten zugewiesen werden (von 11 % bis 24 %). Für diese Bereiche der Hochflächensande wurden bei der Auswertung der Schichtenverzeichnisse der Bohrungen mittlere Feldkapazitäten von i.d.R. über 20 % ermittelt. Dieses deutet auf eine Dominanz von Feinsanden und feinsandigen Mittelsanden hin. Die Verweilzeiten in diesen Gebieten sind deshalb aufgrund der hohen Grundwasserflurabstände und der tatsächlichen lithologischen Verhältnisse gut begründbar.

Die Berechnung der Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone erfolgte unter der Berücksichtigung der Grundwasserneubildung bei aktuellen Oberflächenversiegelung (s. Karte 02.13.5). Die ermittelten Werte stellen für die einzelnen Blockflächen Mittelwerte dar. Die Berechnung der Verweilzeiten ohne Versiegelung wurde mit Daten der Grundwasserneubildung ohne Versiegelung analog durchgeführt. Diese Daten liegen ebenfalls bei der Senatsverwaltung vor, wurden jedoch nicht im Umweltatlas veröffentlicht. Es ergibt sich grundsätzlich die Tendenz, dass in hochversiegelten Bereichen vor allem in der Innenstadt die Verweilzeit des Sickerwassers aufgrund der Zunahme der Sickerwassermenge bei unversiegelten Verhältnisse verringert wird. In den geringer versiegelten Zonen, im äußeren Stadtbereichen ist z.T. eine gegenläufige Tendenz festzustellen. Die Sickerwassermengen nehmen bei Entsiegelung (in Zusammenhang mit veränderten Entwässerungsbedingungen und erhöhter Evapotranspiration) ab, und die Verweilzeiten werden erhöht.

Literatur

- [1] **Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland 1994:**
Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage.
- [2] **DIN 19732 1997:**
Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtadsorbierbaren Stoffen. DIN Deutsches Institut Datengrundlagen für Normung e.V.; Beuth Verlag Berlin.
- [3] **EU 2000:**
Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie) vom 22.12.2000, Luxemburg.
- [4] **Limberg, A., Thierbach, J. 1997:**
Gliederung der Grundwasserleiter in Berlin, Brandenburgische Geowiss. Beiträge. 4, 2, S. 21-26, Kleinmachnow.
- [5] **Heinkele, T., Voigt, H.-J., Jahnke, C., Hannappel, S., Donath, E. 2002:**
Charakterisierung der Empfindlichkeit von Grundwasservorkommen. UBA-FB 000251.
- [6] **Voigt, H.J., Heinkele, T., Jahnke, C., Hannappel, S., Thomas, L. 2003:**
Erstellung von Karten zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für das Land Berlin ; im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung , Cottbus September 2003 unveröffentlicht.
- [7] **Voigt, H.J., Heinkele, T., Jahnke, C., Wolter, R. 2003:**
Characterisation of Groundwater Vulnerability – a Methodological Suggestion to Fulfill the Requirements of the Water Framework Directive of the European Union. Zur Publikation eingereicht bei: Geofisica international.

Karten

- [8] **LGRB & SenStadt (Landesamt für Geologie und Rohstoffe Brandenburg in Zusammenarbeit mit Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) 1995:**
Geologische Übersichtskarte von Berlin und Umgebung 1:100.000 GÜK 100.

- [9] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.):
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe,**
Karte 01.01 Bodengesellschaften, 1:50 000 (1998)
Karte 01.06.1 Bodenarten, 1:50 000 (2002)
Karte 02.05 Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers, 1:50 000 (aktualisierte und
erweiterte Ausgabe, 1993)
Karte 02.07 Flurabstand des Grundwassers, 1:50 000 (1998)
Karte 02.07 Flurabstand des Grundwassers, 1:50 000 (Neuerstellung 2003)
Karte 02.13.5 Grundwasserneubildung, 1:50 000 (2003).
- [10] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2002:**
Karte zur Charakterisierung der Deckschichten nach WRRL
- [11] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2002:**
Geologischer Atlas von Berlin