

- Beratung, Untersuchungen und Gutachten zu Grundwassergewinnung und Kontaminationen, Altlasten und Sanierung,
- Modellierung von Grundwasserströmungen sowie Stoff- und Wärmetransport im Grundwasser,
- Begutachtung von Boden- u. Grundwasserverunreinigungen

O-1190 Berlin  
Bruno-Bürgel-Weg 86-110  
Tel. 0/03 72/6 35 21 66  
Fax 0/03 72/6 35 40 51

# bbr

Wasser und Rohrbau

Sonderdruck aus Heft 8/91

Arbeiten in kontaminierten Grundwässern

## Beeinflussung nichtkontaminierter Grundwässer durch Spülbohrverfahren

Werner Mielcarek, Peter Nillert und Dietmar Schäfer

### Zusammenfassung

Es wird in dem Beitrag eine mögliche Sekundärkontamination eines unbelasteten Aquifers nach Durchbohren eines kontaminierten Aquifers unter Anwendung des indirekten Spülbohrverfahrens untersucht.

Die Untersuchungen über das Verhalten und die Wirkungen des aus der Spülung filtrierten kontaminierten Wassers werden mit Hilfe des Finite-Elemente-Simulators FEWLOW-CAD durchgeführt.

In einer ersten modelltechnischen Simulation wird die kontaminierende Wirkung durch den Wasserverlust aus der Spülung in radialer Richtung zum Gebirge unter Berücksichtigung des ablaufenden Bohrprozesses untersucht. Der zweite Teil der Modellaufgabe verfolgt die Abdrift der Schadstoffwolke und die Entwicklung der Konzentrationswerte im natürlichen Grundwasserstrom.

Die Ergebnisse werden unter den genannten bohr- und modelltechnischen Annahmen und Abläufen dargelegt. □

### Abstract

The article below investigates into the secondary contamination of an originally uncontaminated aquifer after drilling through a contaminated aquifer by using the flush drilling system.

The finite element simulator FEWLOWCAD has been used for these investigations into the behaviour and the effect of contaminated water filtered from the drilling mud.

The contaminating effect by loss of water from the drilling mud in radial direction to the strata has been checked in the first technical model simulation with regard to the running drilling process. The second part of the model task is to trace the drift of the contaminant cloud and the development of the concentration values in the natural groundwater stream.

The results are submitted under the mentioned drilling and model technical assumptions and courses. □

Seit Mitte der 50er Jahre werden auf dem Gebiet der ehemaligen DDR Bohrungen mit Hilfe des indirekten Spülbohrverfahrens – auch als Linksspülbohren bekannt – abgeteuft. Für die Spülungszirkulation kamen hier als technische Verfahren vornehmlich

- a) das Saugspül- bzw. Vakuum- oder
- b) das Airlift- bzw. Lufthebeverfahren zur Anwendung. Eingesetzt wurde das Linksspülbohrverfahren beim Abteufen

von Brunnenbohrungen für die Braunkohlentagebauentwässerung, sowie die kommunale, industrielle und landwirtschaftliche Wasserversorgung im Lockergesteinsbereich, wobei vorrangig das Saugspülbohrverfahren zur Anwendung kam [1].

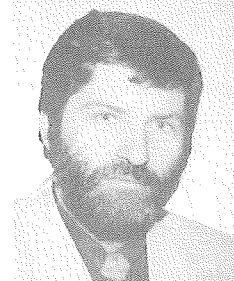
Bis Ende 1990 wurden mehr als 4 Millionen Meter Bohrungen mit Bohrdurchmessern von 500 bis 5000 mm für Braunkohlentagebaue hergestellt. Für die sichere Anwendung dieses Verfahrens spielen hydrogeologische Kriterien fast allein die entscheidende Rolle. Z. B. darf der Grundwasserstand zum sicheren Abteufen der Bohrung nicht höher als 4 m unter Gelände anstehen und evtl. bindige Schichten dürfen keinen bohrlochgefährdenden Nachfall während des Bohrprozesses aufweisen. Unter Beachtung der hydrogeologischen Gesetzmäßigkeiten und des erreichten bohrtechnologischen Entwicklungsstandes konnten die Bohrarbeiten zu einer technischen Reife gebracht werden, die ein fast risikofreies Herstellen der Brunnen- und Schachtbohrungen nachweist.

Nummehr werden die Bohrbetriebe mit einer neuen Problematik konfrontiert, die sich aus möglichen negativen Auswirkungen des Spülbohrprozesses beim Durchteufen kontaminierter und nichtkontaminierter Bereiche eines Aquifers an einem Bohrpunkt ergibt. Es geht darum, daß beim

Obering. Dr.-Ing. Werner Mielcarek, geb. 1929. Studium Bergakademie Freiberg. 1965 Dissertation, 1974 BA Freiberg, Lehrstuhl Tiefbohrtechnik. Direktor Technik, z. Z. freier Mitarbeiter BuS Welzow

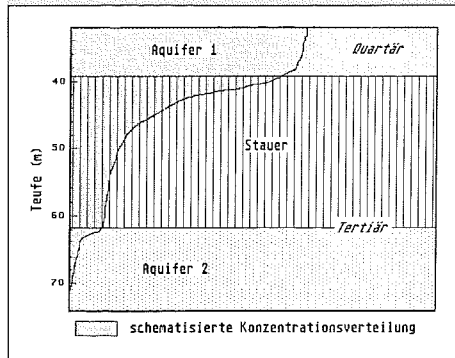


Dr.-Ing. Dietmar Schäfer, geb. 1958, Studium an TU Dresden. Arbeit in Geothermie Neubrandenburg, jetzt Grundwasser Consult Dr.-Ing. Peter Nillert, Berlin



Dr.-Ing. Peter Nillert, geb. 1950, Studium an der TU Dresden. Arbeit in Hydrogeologie Nordhausen, Geothermie Neubrandenburg, jetzt Grundwasser Consult Dr.-Ing. Peter Nillert, Berlin

## 1 Schematisierte vertikale Schadstoffverteilung im Aquifersystem

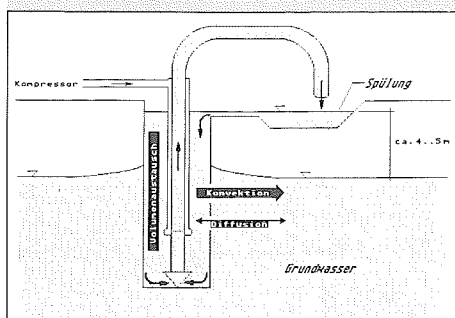


Durchbohren kontaminierter Bereiche die Spülung eine Anmischung der belasteten Stoffe erfährt und sie in den Bereich unbelasteter (tieferer) Grundwässer verschleppt. Das aus der Spülung austretende belastete Wasser infiltriert in ursprünglich unbelastete Grundwässer. Zur Klärung dieser Problematik wurde ein Gutachten in Auftrag gegeben, das auf der Basis numerischer Modelluntersuchungen den Transfer eines Schadstoffes aus der Spülung in den bohrlochnahen Bereich des Aquifers und die damit einhergehende Kontamination quantitativ abschätzen sollte. Für das konkrete Fallbeispiel war das Langzeitverhalten derartiger eingetragener Schadstoffe im Aquifer zu prognostizieren [2].

## 1 Aufgabenstellung für die Untersuchungen

Anlaß zu vorgenannter Untersuchung war die vorgesehene 150 m tiefe 2500 mm-Großlochbohrung für einen chemischen Großbetrieb zur Errichtung einer biologischen Abwasser-Reinigungsanlage (Tief-schacht-Technologie).

## 2 Schematisierte Darstellung des indirekten Spülbohrverfahrens als Lufthebeverfahren mit Austauschmechanismen

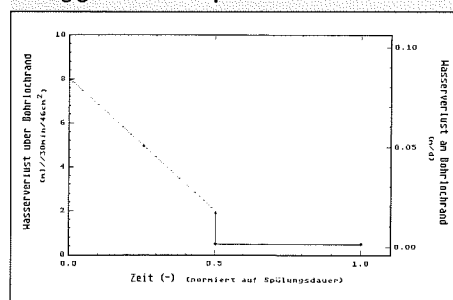


Wie Abb. 1 zeigt, wird der obere Aquifer (1) durch die etwa 23 m mächtige Braunkohlenschicht einschließlich der etwa 0,7 m mächtigen Braunkohlenschicht vom unteren Aquifer (2) getrennt. Der untere Aquifer führt gespanntes Grundwasser. Infolge jahrzehntelanger Tätigkeit des chemischen Großbetriebes ist es zu Schadstoffbelastungen des oberen Aquifers gekommen, die sich in den Stauer und den obersten Horizont des unteren Aquifers fortsetzt. Aus zwei Untersuchungsbohrungen der Jahre 1987 und 1989, die etwa 40 m voneinander entfernt sind und im Bereich des Ansatzpunktes der Großlochbohrung liegen, wurden boden- und grundwasseranalytische Bewertungen vorgenommen. Eine eindeutige vollständige stoffliche und quantitative Untersuchung zur Kontamination lag nicht vor.

Deshalb wurde für die Durchführung der Modelluntersuchungen das ungünstigste Szenario gewählt, d. h., daß bezüglich des Grundwasserchemismus ein fiktiver konservativer Schadstoff, der weder retardiert noch biochemisch abgebaut wird, zu betrachten ist.

Da die Betrachtung einer Sekundärkontamination im primär kontaminierten Bereich wenig sinnvoll ist, sollte lediglich der als unbelastet eingeschätzte Teufenbereich

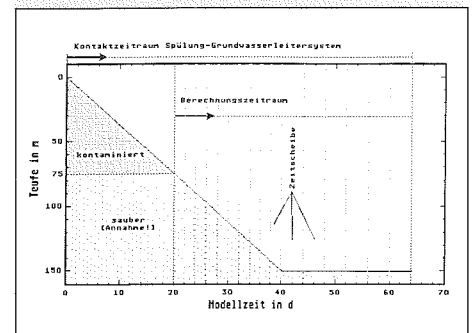
## 3 Wasserabgabe der CMC-Spülung in Abhängigkeit von der Spüldauer



von 75–150 m unter Gelände modelliert werden. Zu berücksichtigen war jedoch die Aufladung des Spülstroms im kontaminierten Teufenbereich 0–75 m unter Gelände.

In der ersten Teilaufgabe wurde die kontaminierende Wirkung der Spülungsinfiltration in radialer Richtung in das Gebirge unter Berücksichtigung des ablaufenden Bohrprozesses untersucht. Die Simulationsergebnisse weisen zeitabhängig die Konzentrationsverteilungen über die Tiefe im Wirkungsbereich der Neukontamination aus.

## 4 Zeitliche Untergliederung des Modellzeitraums zur Berücksichtigung instationärer Randbedingungen



Vom derartig quantifizierten Bereich der Maximalbelastung ausgehend, erfolgte in der zweiten Teilaufgabe die Modellierung der Abdrift der Schadstoffwolke bzw. die Beschreibung der Konzentrationsentwicklung im Abstrom des natürlichen Grundwassers.

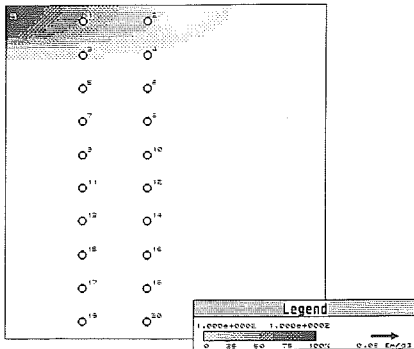
## 2 Bohrtechnologie und der Transportmechanismus der Schadstoffe

Abb. 2 zeigt schematisch die Mechanismen des Stoffaustausches beim Abteufen des Großbohrloches mit Hilfe des Lufthebebohrverfahrens. Der technologische Vorteil des indirekten Spülbohrverfahrens besteht darin, daß die Bohrung ohne mechanische Abstützung – außer einem Standrohr im Bereich des Bohrlochmundes – abgeteuft wird. Im konkreten Fall mußte der Grundwasserspiegel auf etwa 4 m unter Gelände gesenkt werden. Ein Grundwassersenkungsprojekt mit angeschlossener Entsorgung des kontaminierten Grundwassers ist Bestandteil des Gesamtprojektes. Der erwähnte Überdruck der Spülung gegenüber dem Grundwasserspiegel von ca. 0,4 bar unterbindet den Zusammenbruch des Bohrloches. Daraus resultiert aber auch, daß ein Teil des in der Spülung (Ton, CMC, Bentonit) vorkommenden Wassers dem Druckgradienten folgend in den Aquifer überströmt. Der gleiche Vorgang vollzieht sich bei Verwendung natürlichen Wassers als Spülungsmedium.

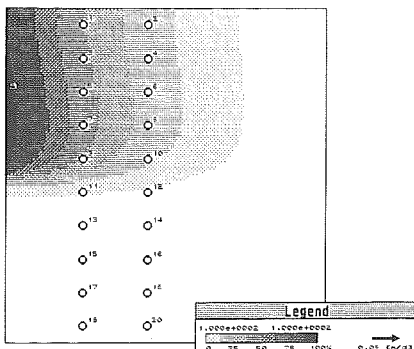
Ein unterstützender Effekt zur Sicherung der Bohrlochstandfestigkeit tritt dadurch ein, daß durch Exfiltration von Wasser aus dem Bohrloch eine Kolmationschicht (Filterkuchen, -kruste) oder eine sich aus Schwebstoffen in einer Naturwasserspülung aufbauenden Kruste an der Bohrlochwand entwickelt. Die abdichten-

5 Druckverteilung

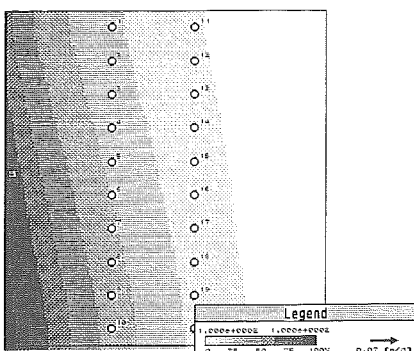
a) Druckverteilung nach 2 Bohrtagen



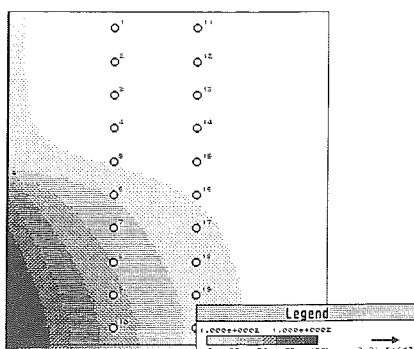
b) Druckverteilung nach 10 Bohrtagen



c) Druckverteilung nach 20 Tagen (Ende der Bohrarbeiten)



d) Druckverteilung nach 44 Tagen (Ende der Ausbaurbeiten)



de Wirkung nimmt mit der Zeit zu, so daß der Filterwiderstand wächst, woraus eine ständige Verringerung der Filtrationsrate bis zum Erreichen eines quasi stationären Zustandes resultiert.

Das Projekt sieht die Anwendung einer CMC-(Zellulose-)Spülung vor. Die Wasserabgabe der CMC-Spülung in Abhängigkeit von der Spüldauer ist auf Grundlage von Laborergebnissen und praktischen Erfahrungswerten in Abb. 3 dargestellt. Die linke Ordinate zeigt die aus der exfiltrierenden Wasserströmung angenommenen Wasserverluste in Abhängigkeit der Spüldauer, die rechte – umgerechnet als Modellinput – die Austrittsgeschwindigkeit des Verlustwassers an der Bohrlochwand. Für die weiteren Betrachtungen wurden Spülvolumen und -durchsatz mit 1825 m<sup>3</sup> bzw. 15 m<sup>3</sup>/min angegeben.

Eine Aufladung der ursprünglich unbelasteten Bohrspülung mit kontaminierenden Stoffen tritt dadurch ein, daß das zu durchteufende kontaminierte Bohrlochvolumen und ein Zuströmen/Mitreißen von kontaminiertem Grundwasser die Spülung belasten (Volumenaustausch). Molekulare Diffusion wird wegen der vorhandenen gegenläufigen Konvektion als vernachlässigbar eingeschätzt und nicht betrachtet.

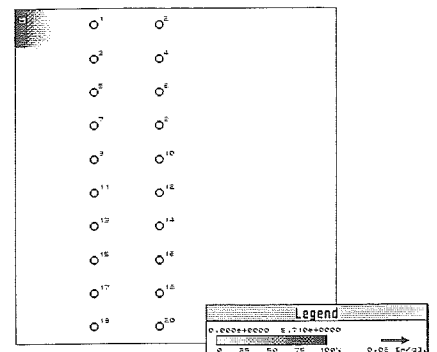
### 3 Bemerkungen zum Modell

Zur problemadäquaten Simulation des radial in das Gebirge abströmenden Spülungswassers wurde eine rotationssymmetrische Modellvariante unter Verwendung des Simulators FELOW-CAD [3] verwendet. Dessen Anwendung gestattet die Modellierung von Strömungs- und Stofftransportprozessen im Grundwasser auf Basis finiter Elemente (FEM) sowohl zweidimensional horizontal und vertikal als auch axialsymmetrisch. Eine grundlegend konservative Modellannahme wurde insofern getroffen, daß in Ermangelung ausreichender Kenntnisse bezüglich des Grundwasserchemismus der Transport eines fiktiven Schadstoffes angenommen wurde, der weder retardiert noch biochemisch abgebaut wird.

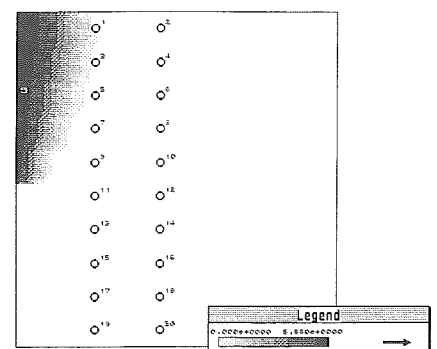
In der lokalen (ersten) Teilaufgabe wurde der gesamte Zeitraum simuliert, in dem die Spülung Kontakt mit dem als unbelastet angenommenen Grundwasserhorizont hat. Dem Bohrfortschritt entsprechend ändern sich innerhalb dieses Zeitraumes die Kontaktfläche zum Aquifer, die Durchlässigkeit (Kolmation) der Bohrlochwand sowie auch die Schadstoffkonzentration der Spülung. Zur hinreichenden Realisierung all dieser Effekte im Modell wurden die

6 Konzentrationsverteilung

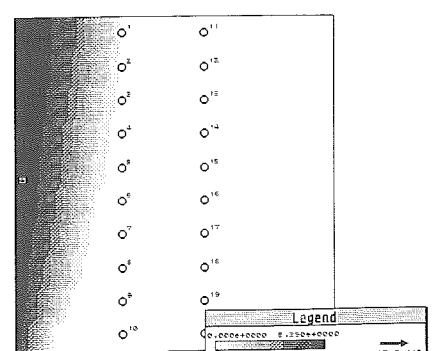
a) Konzentrationsverteilung nach 2 Bohrtagen



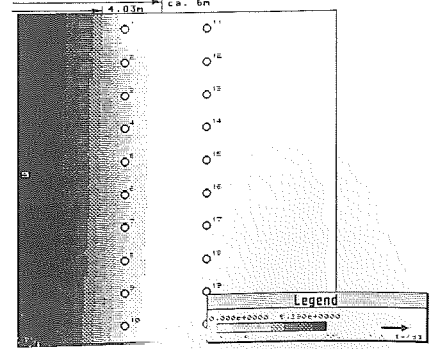
b) Konzentrationsverteilung nach 10 Bohrtagen



c) Konzentrationsverteilung nach 20 Tagen (Ende der Bohrarbeiten)



d) Konzentrationsverteilung nach 44 Tagen (Ende der Ausbaurbeiten)



Randbedingungen an der Bohrlochwand zeitdiskret instationär approximiert. Abb. 4 zeigt schematisch die Vorgehensweise und die verwendeten Zeitinkremente.

Die technologischen Angaben wurden dem Ausführungsprojekt entnommen und sind neben allen weiteren Modellparametern in [2] dokumentiert.

## 4 Untersuchungsergebnisse

Unter Zugrundelegung des bohrtechnischen Zeitablaufes wurden die charakteristischen Systemgrößen Druckverteilung und Konzentrationsverteilung ermittelt und ausgewertet. Die Abb. 5a bis 5d und 6a bis 6d präsentieren diese Simulationsergebnisse für die Zeitpunkte 2, 10 und 20 Tage (Ende der Bohrarbeiten) sowie 44 Tage (Ende der Ausbaurbeiten). Sie charakterisieren auch die Einwirkgrenzen des hydrotechnischen Eingriffes in das natürliche Abflußgeschehen in radialer Richtung. Die Plausibilität dieser Ergebnisse wurde durch Anwendung analytischer Lösungen nach einer weiteren Schematisierung des Problems verifiziert.

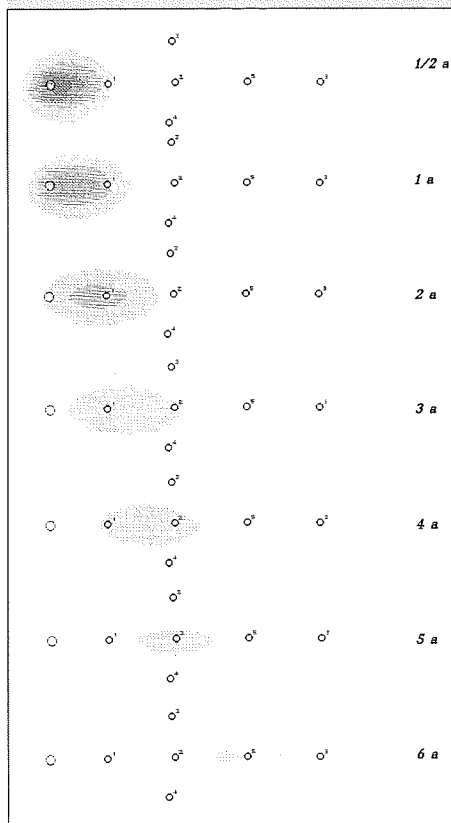
Zusammenfassend sind folgende Ergebnisse zu nennen:

- In Abb. 6d ist für den rein konvektiven Transport des Schadstoffes eine Entfernung von der Bohrlochachse von 4,03 m und für die konvektiv-dispersive Stoffausbreitung von ca. 6,0 m ermittelt worden.
- Die Ergebnisse veranschaulichen, daß der durch eine Sekundärkontamination beeinflusste Raum im unteren Aquifer sehr begrenzt bleibt.
- Die Dynamik des Kontaminationsprozesses ist eng an diejenige der Verlustwasserrate gebunden. Mit zunehmendem Alter der aufgeschlossenen Schicht ist die Zunahme des Kontaminationsgrades in diesem Aquiferbereich nur noch gering.

Da eine – wenn auch bezogen auf das Einzugsgebiet nur sehr geringe – Sekundärkontamination ermittelt worden ist, war es unumgänglich, das weitere Verhalten des eingetragenen Schadstoffes auch großräumig zu prognostizieren. Insbesondere war die weitere Abdrift der nun existierenden Schadstoffwolke in Form eines »Pfeilers« mit dem natürlichen Grundwasserstrom zu verfolgen, um mögliche Auswirkungen auf stromab gelegene Brunnen abschätzen zu können.

In Analogie zu den Gefälleverhältnissen im pleistozänen Aquifer wurden für den unteren tertiären Aquifer ein Gefälle

**7 Zeitliche Entwicklung der Konzentrationsverteilung bei Abdrift mit dem natürlichen Grundwasserstrom**



von 0,3% und eine nach NW gerichtete Filtergeschwindigkeit von  $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  in Ansatz gebracht. Die longitudinale Dispersivität wurde mit 5 m und die transversale mit 0,5 m berücksichtigt. Die Simulation des Stofftransportes im nun horizontalen approximierten Strömungsraum erfolgte zeitdiskret bei konstanter Schrittweite von 2 Monaten in 60 Zeitschritten für einen gesamten Untersuchungszeitraum von 10 Jahren.

Abb. 7 stellt die zeitliche Entwicklung der Konzentrationsverteilung im abdriftenden Grundwasserstrom dar. Im konkreten Fall hat sich bereits nach einem Fließweg von etwa 40 m und einer Fließzeit von weniger als 7 Jahren eine dispersionsgetriebene Verdünnung eingestellt, die die Konzentrationswerte in den einstelligen Prozentbereich bezüglich der Anfangskonzentration absinken läßt. Biochemischer Abbau des Kontaminanten wurde dabei nicht betrachtet. Ursächlich verantwortlich für die beschriebenen Effekte der großräumigen Verteilung (Verdünnung) mit sehr viel geringerer Konzentration, als diese ursprünglich am Bohrloch vorlag, sind allein strömungsmechanische Einflüsse.

## 5 Bewertung

Modelltechnisch konnte eine Sekundärkontamination des Bohrlochbereiches bis zu einer maximalen Entfernung von 6 m von der Bohrlochachse für den gesamten Zeitraum der Bohr- und Ausbaurbeiten prognostiziert werden. Jenseits dieses Radius sind Konzentrationswerte kleiner als 1% bezogen auf die Ausgangskonzentration zu erwarten.

In einem zweiten Modellschritt konnte gezeigt werden, daß allein dispersionsbedingt mit dem Auftreten eines starken Verdünnungseffektes zu rechnen ist. So verringert sich beispielsweise innerhalb von sieben Jahren das Konzentrationsmaximum im Aquifer auf Werte unterhalb eines Zehntels der Ausgangskonzentration am Bohrloch nach Beendigung der technischen Arbeiten.

Mögliche Retardations- und biochemische Abbauprozesse sowie die Grundwassererneuerung verringern einerseits die Mobilität des Kontaminanten und andererseits seine auftretenden Konzentrationsmaxima. Entscheidend für die Bewertung diskutierter Sekundärkontaminationen ist aus Sicht der Autoren die derart in den Aquifer eingetragene Schadstoffmasse unter Beachtung ihres toxikologischen und hygienischen Gefährdungspotentials in Relation zu den repräsentativen Ausdehnungen und Nutzungsbedingungen des Aquifers.

Für eine Vielzahl von Fällen, die nicht durch höchstgradige Gefährdungspotentiale der Kontaminanten oder extreme Nutzungsanforderungen des Aquifers charakterisiert werden, ist somit davon auszugehen, daß aus ingenieurtechnischer Sicht eine gefahrungsrelevante Beeinflussung unbelasteter Grundwasserhorizonte beim Durchbohren kontaminierter Grundwässer aufgrund einer Schadstoffverschleppung durch die Bohrspülung nicht zu erwarten ist.

## Literatur

- [1] Mielcarek, W.; Christoph, P.; Lewitzki, W.: Technisch-ökonomische Anwendungsgrenzen der Lufthebe-(Air-Lift-) bzw. Saugbohrtechnik – Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb des VEB Braunkohlenbohrungen und Schachtbau Welzow, Neue Bergbautechnik, 19. Jg., Heft 6 – Juni 1989
- [2] Schäfer, D.; Nillert, P.: Gutachten zur hydrogeologischen Bewertung der Schachtbohrtechnologie am Standort eines Chemiebetriebes, Berlin, Juli 1990, Grundwasser Consult Dr.-Ing. Peter Nillert, Berlin, unveröffentlicht
- [3] Diersch, H.-J.: FEWLOW-Interactive, Graphics-based Finite-Element-Simulation, System for Groundwater Contamination Problems, Berlin, 1990, unveröffentlicht