

BOCHUMER GEOWISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN
HEFT 24 (2018)

TAGUNGSBAND

GRUNDWASSER IM UMFELD VON
BERGBAU, ENERGIE UND URBANEN RÄUMEN

26. Fachtagung der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e. V.
Bochum, 21. - 24. März 2018



HERAUSGEGEBEN VON:
A. BANNING, S. FRANK,
R. KAUFMANN-KNOKE,
A. NIEDERMAYR,
F. WISOTZKY, S. WÖHNLICH

Bochumer geowissenschaftliche Arbeiten

Herausgegeben vom
Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstr. 150
D-44780 Bochum

Verantwortlicher Schriftleiter:

Prof. Dr. Frank Wisotzky

ISSN 1619-8050

Selbstverlag Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik der Ruhr-Universität Bochum

Druck: Ruhr-Universität Bochum

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Danksagung.....	2
Organisatorisches von A bis Z	3
Fortbildungen	5
Exkursionen.....	7
Rahmenprogramm und Abendvortrag	11
Abendvortrag.....	12
Programmübersicht.....	13
Übersicht Poster	15
Plenarvorträge.....	25
1 Auslagung von Schadstoffen aus Berge-/Abraumhalden	29
Poster	29
2 Grubenwasser.....	37
Vorträge	37
Poster	45
3 Tiefengeothermie und Tiefengrundwasser.....	51
Vorträge	51
Poster	56
4 Geothermische Nutzung im Grundwasser: Auswirkungen, Qualitätssicherung, neue Techniken	63
Vorträge	63
Poster	72
5 Organische Schadstoffe im Grundwasser	79
Vorträge	79
Poster	83
6 Grundwasserhochstände – Prozesse, Risiken, Planungshilfen	87
Vorträge	87
Poster	92
7 Grundwassertemperaturen im urbanen Raum – Monitoring, Management und Prozess- verständnis anthropogener Einflussfaktoren	95
Vorträge	95
Poster	99
8 Karstgrundwasserleiter – Neue Entwicklungen und Methoden in der Charakterisierung und Modellierung dualer Fließsysteme	101
Poster	101
9 Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen: Prozesse und Methoden	107
Vorträge	107
Poster	121

10 Wasser und Umwelt in Südostasien	141
Vorträge	141
Poster	147
11 Beiträge zur Hydrogeologie Südamerikas und Afrikas	149
Vorträge	149
Poster	154
12 Reaktiver Stofftransport in heterogenen Grundwasserleitern	159
Vorträge	159
Poster	166
13 Nitrat und Bedeutung der Denitrifikation in der Wasserversorgung	171
Vorträge	171
Poster	176
14 Güte und Bewertung von Grundwassermodellen	183
Vorträge	183
Poster	188
15 Groundwater and Climate Change (co-organized by IAH-D).....	193
Vorträge	193
Poster	197
16 Trinkwasser und Wasserversorgung	199
Vorträge	199
Poster	208
17 Wasserwiederverwendung zur Grundwasseranreicherung.....	213
Vorträge	213
Poster	215
18 Angewandte Hydrogeologie – Fallbeispiele der Staatlichen Geologischen Dienste.....	219
Vorträge	219
Poster	228
19 Forum Junge Hydrogeologen	233
Vorträge	233
Poster	244
Autorenliste	255

Vorwort

Grundwasser im Umfeld von Bergbau, Energie und urbanen Räumen

Der 22. März ist seit 1994 der United Nations-Weltwassertag, der jährlich unter einem anderen Motto ausgerufen wird. Für das Jahr 2018 ist das Motto 'Nature for Water'. Gemeint sind die natürlichen Möglichkeiten zur Lösung der Herausforderungen, die die Nutzung von Wasser an unsere Gesellschaft stellt. In der Tat bewegen wir uns auch in dicht besiedelten urbanen Räumen, wie hier in der Mitte des Ruhrgebietes, in einem von der Natur geregelten System, und wir streben einen so weit wie möglich natürlichen, gesunden und nachhaltigen Zustand der Gewässer an. Dies ist vor allem im Ruhrgebiet hoch aktuell, besonders, angesichts der Diskussionen zum Ausstieg aus der Steinkohle, der für das Ruhrgebiet den Endpunkt eines Ausstieges aus seiner langen Industriegeschichte darstellt, die durch Bergbau, Stahl- und Chemieindustrie geprägt war. Die Hinterlassenschaften in Form von kontaminiertem Grundwasser und einer flächenhaft abgesenkten Grundwasseroberfläche werden aber noch über Jahrzehnte hinaus Herausforderungen an die Hydrogeologie stellen.

Darüber hinaus erzeugt die deutsche Energiewende – die Ablösung fossiler und nuklearer Energieträger durch regenerative Alternativen – neben den zahlreichen Herausforderungen auch Chancen, gerade auch im Bereich der Hydrogeologie. Hierzu zählt vor allem die Nutzung der Geothermalen Ressourcen, die gerade in urbanen Räumen zunehmende Bedeutung erhalten wird. Gerade das Ruhrgebiet stellt mit seiner untertägigen, bergbaubedingten Infrastruktur ein Versuchslabor für neue wissenschaftliche Konzepte, Ansätze und Lösungen dar.

Neben den genannten Aspekten rund um Bergbau, Energie und urbanen Räumen werden weitere Facetten des Grundwassers und seiner Erforschung aufgegriffen. Welche neuen Methoden stehen uns Hydrogeologen zur Verfügung? Welche Fragen dominieren aktuell die Diskussionen in den Bereichen Grundwasserchemie und -modellierung? Wie ist der wissenschaftliche und technische Stand von Grundwassergewinnung und -aufbereitung? Und wie stellt sich die Situation dar, wenn wir den europäischen Kontinent hydrogeologisch verlassen? Das Vortrags- und Posterprogramm der Tagung wird durch spannende Exkursionen und Fortbildungsveranstaltungen ergänzt.

Die 257 eingereichten Beiträge wurden auf 19 Sessions aufgeteilt, wobei wir uns auf 137 Vorträge und 120 Posterpräsentationen freuen dürfen. Mit dieser großen Resonanz sind wir zuversichtlich, dass das Leitthema „Grundwasser im Umfeld von Bergbau, Energie und urbanen Räumen“ die Bedeutung des Grundwassers in dicht besiedelten Gebieten, auch außerhalb der Wasserversorgung, in den Fokus der fachlichen und öffentlichen Wahrnehmung stellt, zumal die Diskussionen zum Ausstieg aus der Steinkohle, Herausforderungen und Chancen im Bereich Grubenwasser etc. gerade 2018 einen voraussichtlichen Höhepunkt erreichen dürften.

Glückauf!

Prof. Dr. Stefan Wohnlich

Danksagung

Wir danken dem erweiterten Organisationskomitee für die freundliche Kooperation:

Michael Altenbockum, A&P; ITVA
Rolf Bracke, Internationales Geothermiezentrum Bochum
Michael Getta, EGLV
Ernst-Werner Hoffmann, AAV
Holger Kories, DMT
Wolfgang Leuchs, LANUV
Christian Melchers, THGA
Johannes Meßer, EWLW
Ingo Schäfer, Geologischer Dienst NRW
Roland Schindler, NEW

Wir danken dem wissenschaftlichen Komitee für die freundliche Kooperation:

Michael Altenbockum, A&P; ITVA
Johannes Barth, Universität Erlangen-Nürnberg
Steffen Bender, Climate Service Center Hamburg
Axel Bergmann, RWW
Rolf Bracke, Internationales Geothermiezentrum Bochum
Olaf Cirpka, Universität Tübingen
Nils Cremer, Erftverband
Sebastian Fischer, BGR
Benjamin Gilfedder, Universität Bayreuth
Peter Huggenberger, Universität Basel
Bernd Leßmann, HLNUG
Christian Melchers, THGA Bochum
Christoph Merz, ZALF; FU Berlin
Nils Moosdorf, ZMT Bremen
Johannes Riegger, Universität Stuttgart
Wolfram Rühaak, BGR
Ingo Sass, TU Darmstadt
Martin Sauter, Universität Göttingen
Thomas Schiedek, TU Darmstadt
Ingo Schäfer, Geologischer Dienst NRW
Stefan Simon, Erftverband
Harro Stolpe, RUB
Thomas Track, DECHEMA
Christian Wolkersdorfer, Tshwane University - South Africa; Lapeenranta University - Finland

Organisatorisches von A bis Z

Exkursionen

Verbindlicher Anmeldeschluss für die Exkursionen war der 15. Februar 2018. Bitte beachten Sie die Aushänge zu Abfahrtszeit und Treffpunkt im Tagungsbüro. Freie Exkursionsplätze können während der Tagung noch im Tagungsbüro gebucht werden.

Internet

Ein individueller WLAN-Zugangscode kann im Tagungsbüro erfragt werden. Teilnehmer mit Eduroam-Zugang können diesen an der RUB nutzen.

Öffentlicher Nahverkehr

Den Hauptbahnhof Bochum fahren ICE-, IC-, EC-, Regionalzüge und S-Bahnen in hoher Frequenz an. Von dort kommt man mit der U-Bahn U35 (CampusLinie) bequem zur Ruhr-Universität, die über eine eigene Haltestelle verfügt. Die U35 (Richtung Bochum Hustadt) fährt an Werktagen im 5-Minuten-Takt und benötigt knapp 10 Minuten vom HBF bis zur Uni Bochum. Zuständiger Verkehrsverbund ist der VRR.

Parkplätze

Eine begrenzte Anzahl an kostenfreien Parkplätzen finden Sie im Parkhaus der Ruhr-Universität (P4–P8, grüne Markierung) und in der Umgebung der Ruhr-Universität. Bitte beachten Sie, dass Sie entlang der Fahrbahn im Parkhaus nicht parken dürfen, in diesen Bereichen werden Sie kostenpflichtig abgeschleppt. Eine Orientierung zu Parkplätzen und Parkhäusern an der RUB bietet folgendes Kartenmaterial:

http://www.ruhr-uni-bochum.de/anreise/images/parkplaetze_1200.jpg

<http://www.ruhr-uni-bochum.de/anreise/download/parkhausplan.pdf>

Posterausstellung

Die Poster können am Mittwoch, 21.03.2018 ab 18:00 Uhr aufgehängt werden. An den Posterstellwänden ist links oben die Beitragsnummer angebracht. Befestigungsmaterial wird gestellt. Für alle Poster ist während der Postersession eine Präsenz am Poster vorgesehen.

Tagungsband

Der vorliegende Tagungsband enthält die Kurzfassungen von rund 260 Vortrags- und Posterbeiträgen sowie eine Liste der Autoren. Registrierten Besuchern steht der Band auch in elektronischer Form auf der Webseite der Konferenz zur Verfügung.

Tagungsbüro

Öffnungszeiten:

Mittwoch 9:00-20:00 Uhr

Donnerstag 8:00-17:00 Uhr

Freitag 8:30-17:00 Uhr

Samstag 8:30-12:00 Uhr

Während der Tagung sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Tagungsbüros in den angegebenen Zeiten unter der Telefonnummer +49 234 3228000 zu erreichen.

Tagungsgebühr

In den Tagungsgebühren sind Tagungsunterlagen, Pausenverpflegung und Mittagessen sowie die Abendveranstaltung enthalten. Zusätzliche Kosten fallen an, wenn Sie an einer Fortbildungsveranstaltung oder Exkursion teilnehmen. Bis zum 15. Februar 2018 wurde bei Rücktritt eine Bearbeitungsgebühr von 25,- € erhoben, bis zum 3. Werktag vor der Veranstaltung werden 50 % der Teilnahmegebühren fällig. Bei einer späteren Absage bzw. bei Nichterscheinen ist der volle Beitrag zu entrichten. In diesem Fall werden die Tagungsunterlagen zugeschickt.

Taxi

Taxi Bochum (0234) 333000

Taxi-Bednarz Elektro-Taxi (0234) 490024

Taxi Thorsten Behrens (0234) 16160

Touristische Informationen

Ausführliche Informationen erhalten Sie in der Tourist-Information Bochum: Touristinfo RUHR.INFOCENTER, Hustr. 9, 44787 Bochum (<https://www.bochum-tourismus.de/de/service/ticketshop/index.php>).

Telefon: (0234) 963020

Öffnungszeiten: Mo.-Fr. 9-18 Uhr, Sa 10:00-16:00 Uhr

Verpflegung

Für das Mittagessen in der Mensa finden Sie Verpflegungsgutscheine in Ihren Tagungsunterlagen. Außerhalb der Mensa-Öffnungszeiten (Do 11:00 bis 14:30 Uhr, Fr 11:00 bis 14:00 Uhr) stehen Ihnen auf dem Campus das Q-West Mo.-Fr. von 11:15 bis 22:00 Uhr (keine Gutscheine), die Cafeteria Uni-Bibliothek (Mo.-Fr. 9:00 bis 20:00 Uhr und Sa 11:00 bis 15:00 Uhr) und die Cafeteria im NA02 zur Verfügung (Mo.-Fr. 7:45 bis 16:00 Uhr). Geschäfte befinden sich fußläufig neben der U-Bahnhaltestelle im Unicenter (von 7:00 bis 22:00 Uhr). Während der Kaffeepausen erhalten Sie warme und kalte Getränke sowie Snacks im Foyer des Audimax.

Vorträge und Präsentationen

Für Vorträge sind 15 Minuten vorgesehen (12 Minuten Vortrag + 3 Minuten Diskussion). Die Session-Verantwortlichen sind angehalten, diesen Zeitplan strikt einzuhalten. In jedem Hörsaal gibt es einen Laptop mit Beamer. Als Anzeigesoftware stehen Microsoft PowerPoint sowie Adobe Acrobat Reader zur Verfügung. Vor Ihrer Session oder in den Pausen nehmen unsere Sessionleiter und -helfer Ihre Vortragsdateien gerne in dem jeweiligen Vortragsraum entgegen und kopieren diese auf den Präsentationslaptop. Bitte geben Sie Ihre Vortragsdatei daher rechtzeitig und mindestens eine Pause vor Ihrer eigenen Session ab.

Zahlung

Die Zahlungsmöglichkeit vor Ort ist Barzahlung. Geldautomaten befinden sich im Bereich der Universitätsbibliothek sowie im Uni-Center (Querenburger Höhe 280, 44801 Bochum).

Fortbildungen

I Anforderungen an die Planung von geothermischen Anlagen

Dr. Sven Rumohr, Dipl. Geol. Ingo Schäfer

21.03.2018, 10:00-17:00 Uhr Teilnehmerzahl: max. 25

Die Anforderungen an die Planung, Bau und Betrieb geothermischer Anlagen wurden in den vergangenen Jahren stetig weiterentwickelt. Schaut man sich die Genehmigungspraxis, die Entwicklungen der VDI-Richtlinie 4640 sowie der einzelnen Länderleitfäden an, scheinen Anlagen „von der Stange“ immer mehr der Vergangenheit anzugehören. Stattdessen sind heute häufiger denn je Geowissenschaftler und Ingenieure gefragt, welche eine Anlage nachvollziehbar dimensionieren, die genehmigungsrechtlichen Belange kennen sowie den Einbau fachlich betreuen.

In der Veranstaltung werden die wasser- und bergrechtlichen Anforderungen für den Einbau und den Betrieb von geothermischen Anlagen verständlich und unter geowissenschaftlichen Aspekten erläutert. Ebenso werden die aktuellen Entwicklungen in der VDI-Richtlinie 4640 vorgestellt sowie deren Auswirkungen auf die Planung von geothermischen Anlagen beleuchtet. Anhand von konkreten Beispielen sowie Vorgaben aus aktuellen Länderleitfäden werden die neusten Entwicklungen zum Thema „Qualitätssicherung in der oberflächennahen Geothermie“ dargestellt und diskutiert. Abschließend werden diese Anforderungen in Bezug auf das Arbeitsblatt DVGW W120-2 betrachtet und daraus entstehende Haftungsfragen aufgeführt.

Die Veranstaltung bringt die Teilnehmer/-innen auf den aktuellsten Stand und ist somit für Branchenkenner ebenso geeignet wie für Einsteiger. Der Kurs soll Planer gleichermaßen wie Behördenvertreter und ausführende Bohrunternehmen in die Lage versetzen, im Spannungsfeld „Erdwärmennutzung / Grundwasserschutz / Kundenansprüche“ sicher und kompetent zu agieren.

Es ist geplant, dass die Teilnehmer/-innen im Vorfeld des Kurses konkrete Fragen an die Referenten senden können. Diese Fragen werden nach Möglichkeit und Relevanz innerhalb des Kurses beantwortet bzw. diskutiert.

Die Veranstaltung erfüllt die Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 120-2 an Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen.

II Grundwasserneubildung: Prozesse, Entwicklungen, Einflüsse auf die Wasserwirtschaft

Dr. Johannes Meßer (Emscher Wassertechnik GmbH), Martin Becker (delta h),

Prof. Dr. Wilhelmus H.M. Duijnisveld, Dr. Jörg Neumann (LfU Bayern)

21.03.2018, 10:00-17:00 Uhr Teilnehmerzahl: max. 25

Die Grundwasserneubildung stellt eine wesentliche hydrogeologische Größe dar, die meist als Eingangsparameter für Untersuchungen zum Grundwasserhaushalt, Fragen der Grundwassergeschütztheit, prognostische anwendungsorientierte Fragestellungen z.B. der Siedlungswasserwirtschaft, bis hin zu Grundwassermodellierungen mit ihren vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten eingesetzt wird. Dieser wesentlichen Stellung in der Hydrogeologie möchte das Seminar durch die Vielfalt der Perspektiven, vorgetragen von verschiedenen Referenten, gerecht werden.

Die Grundwasserneubildung wird in diesem Seminar aus mehreren Perspektiven betrachtet:

1. Als Prozess, dessen einzelne Systemelemente kritisch betrachtet werden müssen.
2. Als hydrogeologische Größe, die von Boden- und Gesteinsparametern abhängig ist.
3. Als hydrologische Größe, die von Klimaparametern bestimmt wird und wesentlicher Teil der Wasserbilanz ist
4. Als wasserwirtschaftliche Eingangsgröße und Grundlage für die Modellierung anwendungsbezogener Fragestellungen von der Trinkwassergewinnung bis zur Siedlungswasserwirtschaft.

Im Seminar wird daher zunächst ein umfassender methodisch-konzeptioneller Überblick gegeben. Die zentralen Teile werden sich dann mit Fragestellungen des Bodenwasserhaushalts und der daraus resultierenden Grundwasserneubildung in Locker- und Festgesteinsaquifere beschäftigt. Darauf aufbauend sollen spezielle wasserwirtschaftliche Aspekte der Grundwasserneubildung, z.B. im Siedlungsraum und im Zusammenhang mit der Wassergewinnung betrachtet werden. Einen besonderen Raum nehmen die Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten relevanter Einflussfaktoren ein.

Exkursionen

Ex1: Mittwoch, 21.03.2018, 12:00 – 18:30 Uhr

Spurenstoffe und Einträge aus der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Talsperre Haltern

Leitung: *Dipl.-Geol. Peterwitz und Dipl.-Geol. Bötdeker (Gelsenwasser AG)*
Teilnehmerzahl: *max. 50 Personen*
Hinweise: *Bustransport*
Kosten: *35 € pro Person*

Das Wasserwerk Haltern – 1908 erbaut, heute eines der größten seiner Art in Europa – ist die Grundlage für die Trinkwasserversorgung von rund 1 Mio. Menschen, Gewerbe und Industrie in 20 Städten des nördlichen Ruhrgebietes, im Münsterland und in der Stadt Duisburg. Das bis zu 200 m mächtige Vorkommen der Halterner Sande bietet hierfür, geologisch und hydrologisch gesehen, gute Voraussetzungen. Die Versorgungssicherheit wird im Wesentlichen durch die künstliche Grundwasseranreicherung gewährleistet.



Vielfältige Nutzungen in den benachbarten Städten und Gemeinden sowie im ländlichen Raum stehen in Konkurrenz zu den Ansprüchen der Wasserwirtschaft und können sowohl die Qualität des Talsperren- als auch des Grundwassers beeinträchtigen. Eine bedeutende Rolle spielt hierbei die Landwirtschaft, die das rund 880 km² große Einzugsgebiet der Talsperre Haltern zu drei Vierteln nutzt. Darüber hinaus existiert nördlich der Talsperre Haltern eine bedeutende Belastung des Grundwassers im Bereich einer ehemaligen Sprengstofffabrik durch sprengstofftypische Verbindungen, deren Ausbreitung in den letzten Jahren u.a. modelltechnisch untersucht wurde. Im Rahmen der Exkursion soll das Wasserwerk in seiner Funktionsweise sowie der aktuelle Stand der Untersuchungen zu den vorhandenen Gewässerbelastungen vorgestellt werden.

Ex2: Mittwoch, 21.03.2018, 12:00 – 18:00 Uhr

Wasserversorgung und Braunkohlebergbau in der Niederrheinischen Bucht (Tagebau Garzweiler)

Leitung: *Dr. Wiebke Klauder (RWE)*
Teilnehmerzahl: *max. 24 Personen*
Hinweise: *Bustransport, gutes Schuhwerk und wetterfeste Kleidung benötigt*
Kosten: *35 € pro Person*

Der Tagebau Garzweiler liegt westlich von Grevenbroich und erstreckt sich bis in das südliche Stadtgebiet von Erkelenz. Seit 2006 bewegt er sich im Anschlussfeld Garzweiler II im Westen.

In dem Gebiet lagern in bis zu 210 Metern Tiefe etwa 1,2 Milliarden Tonnen Braunkohle, die bis 2045 abgebaut werden. Der Rohstoff ist in drei Flözen abgelagert, die zusammen durchschnittlich 40 Meter stark sind. Die Kohle, die zwischen rund 40 und 210 Metern tief im Boden liegt, dient ausschließlich zur Stromerzeugung in den nahe gelegenen Kraftwerken Frimmersdorf, Neurath und Niederaußem. Weite Teile des Abbaufeldes sind heute bereits vollständig rekultiviert. Dabei hat der Tagebau mit dem Hohenholzer Graben, dem Erholungsgebiet Kasterer See, der Königshovener Mulde, der Vollrather Höhe und dem Elsbachtal anerkannt wertvolle Naturräume hinterlassen.

Rund 80 Millionen Kubikmeter Sumpfungswasser (aus den Brunnen zur Trockenhaltung des Tagebaus) werden in RWE-eigenen Wasserwerken ähnlich wie Trinkwasser aufbereitet. Dieses sogenannte Ökowasser gleicht in bestimmten Gebieten die Folgen der Grundwasserabsenkung für den natürlichen Wasserhaushalt aus. Im Nordraum von Garzweiler – zwischen Mönchengladbach und der niederländischen Grenze – gibt es zahlreiche Feuchtgebiete, in denen der Wasserstand stabilisiert werden muss. Dazu wird gezielt und bedarfsgerecht Wasser in den Boden und in Gewässer geleitet.

Ex3: Mittwoch, 21.03.2018, 12:00 – 18:00 Uhr

Exkursion zur bergmännischen Wasserwirtschaft im Ruhr-Revier

Leitung: Prof. Dr. Christian Melchers (THGA Bochum)
Teilnehmerzahl: max. 15 Personen
Hinweise: Bustransport
Kosten: 35 € pro Person

Im Ruhr-Revier wird bereits seit dem 12. Jahrhundert Steinkohle abgebaut. Vom oberflächennahen Pingenabbau in den Anfangsjahren erfolgt der Steinkohlenabbau in den letzten 150 Jahren im industriellen Maßstab. Zeugnisse dieser Entwicklung der Rohstoffgewinnung sind sowohl die Erbstollen als auch die Fördertürme mit den Grubenwassereinleitestellen in Ruhr, Emscher und Lippe.

Im Rahmen der Exkursion werden Erbstollen besichtigt, die nachweislich schon mehrere Jahrhunderte eine sichere Entwässerung des Gebirges gewährleisten. Auch nach Schließung der letzten Zeche im Jahr 2018 müssen die Erbstollen das Grubenwasser weiterhin sicher ableiten. Eine große Bedeutung für die langfristige Grubenwasserhaltung im Ruhr-Revier kommt den sog. Wasserhaltungsstandorten zu. So werden alleine am Standort der ehemaligen Zeche Robert Müser jährlich 8,5 Mio. m³ Grubenwasser gehoben und über die Harpener Teiche in die Ruhr geleitet. Ein Teil des geförderten Volumenstroms wird für die geothermische Energiegewinnung genutzt.

Neben den anthropogen geschaffenen Wasseraustrittsstellen erfolgt an Quellen eine natürliche Entlastung des basalen Deckgebirges. Alleine in Unna-Mühlhausen sind 40 Quellaustritte bekannt, die zum Teil artesisch gespannt sind und u.a. die älteste Mühle Westfalens betreiben. In Holzwickede befindet sich die Quelle der Emscher, dessen Vorflutfunktion im weiteren Verlauf durch das zentrale Ruhr-Revier durch die bergbaulichen Einflüsse nachhaltig beeinflusst wurde und wird.

Ex4: Samstag, 24.03.2018, 13:00 – 18:00 Uhr

Wasserwirtschaft im Emschergebiet

Leitung: Dr. Johannes Meßer (Emscher Wassertechnik GmbH),
Michael Getta (Emscher Genossenschaft)
Teilnehmerzahl: max. 30 Personen
Hinweise: Bustransport
Kosten: 35 € pro Person

Infolge des Bergbaus unterlagen weite Teile des Emschergebietes Bergsenkungen von bis zu 20 m. Seit 120 Jahren ist es Aufgabe der Emscher Genossenschaft den Abfluss des Rein- und Schmutzwassers zu gewährleisten. Hierfür wurden

Polderpumpwerke errichtet, die das Grund- und Oberflächenwasser in die Emscher bzw. ihre Nebenläufe fördern. Über 100 Pumpwerke mit einer Gesamtleistung von 520 m³/s entwässern mehr als ein Drittel des Einzugsgebietes.

Seit dem Rückzug des Bergbaus wurde eine Vielzahl von Gewässern vom Schmutzwasser befreit und ökologisch umgestaltet. Bis 2020 werden etwa 350 km Gewässer umgestaltet und 423 km Abwasserkanäle gebaut sein. Darunter auch der über 70 km lange Emscherkanal von Dortmund bis Dinslaken in einer Tiefe von 10 m bis 40 m und einem Durchmesser bis zu DN 2800. Hinzu kommen eine Vielzahl an Rückhaltebecken, Kläranlagen, Regenwasserbehandlungsanlagen und Anlagen zur Grundwasserbewirtschaftung.

Im Rahmen der Exkursion werden Polder- und Baumaßnahmen besichtigt.

Ex5: Samstag, 24.03.2018, 13:00 – 18:00 Uhr

Hydrogeologie, Bergbau und Wasserversorgung im Ruhrgebiet

<i>Leitung:</i>	<i>Prof. Dr. Stefan Wohnlich und Prof. Dr. Frank Wisotzky (RUB)</i>
<i>Teilnehmerzahl:</i>	<i>max. 35 Personen</i>
<i>Hinweise:</i>	<i>Bustransport</i>
<i>Kosten:</i>	<i>35 € pro Person</i>

Diese Exkursion zeigt die geologische, hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Situation des Ruhrgebietes. Es werden die Effekte der Steinkohlengewinnung mit seinen Landsenkungen und den Auswirkungen auf die Vorflut vorgestellt. Unterschiedlich mineralisierte Grubenwasser, welche aus den Schachtanlagen und Erbstollen in die Oberflächengewässer fließen, werden besichtigt. Neben den karbonischen Kluftgrundwasserleitern wird ein artesischer Karstgrundwasserleiter der Kreidezeit besucht. Ergänzt wird dies durch eine Besichtigung von quartären Schichtquellen im mittleren Ruhrgebiet. An allen Exkursionspunkten mit „Wasserkontakt“ werden die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert gemessen. Zudem erfolgt eine detaillierte Beschreibung der angetroffenen Wasserchemie.



Ex6: Samstag, 24.03.2018, 13:00 – 18:00 Uhr

Geothermische Nutzungen von Infrastrukturen und Grubenwässern des Steinkohlenbergbaus

Leitung: Prof. Dr. Rolf Bracke (Geothermiezentrum Bochum)

Teilnehmerzahl: max. 16 Personen

Hinweise: Bustransport

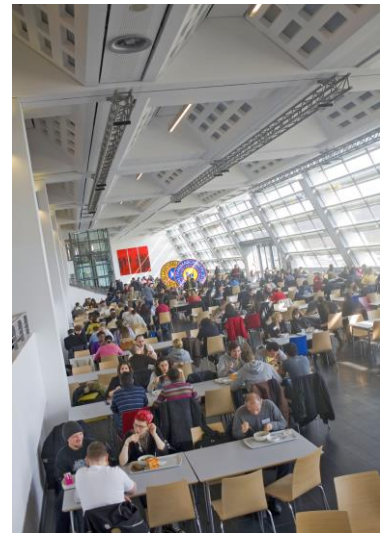
Kosten: 35 € pro Person

Das Ruhrgebiet verfügt mit seinen mehr als 180 ehemaligen Steinkohlezechen im tieferen Untergrund über ausge dehnte Hohlraumstrukturen mit einer Ausdehnung von mehreren hundert Quadratkilometern. Diese Strukturen sind zum Teil bereits geflutet, zum Teil steht der Flutungsprozess unmittelbar bevor. An mehreren Standorten in Bochum, Essen und Marl finden bereits aktive Folgenutzungen des Grundwassers in früheren Grubengebäuden für eine zukünftige Energiegewinnung und -speicherung statt. Die 1/2-tägige Exkursion zeigt exemplarisch die Möglichkeiten auf für eine Integration bergbaulicher Strukturen in die Konversion der Fernwärmesysteme an der Ruhr von fossilen hin zu erneuerbaren Energieträgern.

Rahmenprogramm und Abendvortrag

Icebreaker

Die Tagung startet mit einer Icebreaker-Party am Mittwochabend, 21. März 2018, ab 18:00 Uhr im Foyer des Audimax auf dem Campus der Ruhr-Universität Bochum. Während der Icebreaker-Party ist das Tagungsbüro für die Registrierung geöffnet.



Beide Fotos: ©Ruhr-Universität Bochum

Gesellschaftsabend

Der Gesellschaftsabend findet am Donnerstag, 22. März 2018, ab 19:30 Uhr in der Mensa der Ruhr-Universität Bochum, in unmittelbarer Nähe zu den Tagungsräumlichkeiten, statt. Die Lage ist ebenfalls auf dem Campusplan verzeichnet.

Mitgliederversammlung der FH-DGGV

22.03.2018, 18:00 Uhr, Audimax

Mitgliederversammlung der IAH

23.03.2018, 15:15 Uhr, Mensagebäude, Seminarraum 2

Ehrungen

23.03.2018, 17:15 Uhr, HZO 30

Abendvortrag

23.03.2018, 18:00Uhr, HZO 30

Tauchfahrten in geflutete Bergwerksschächte des Rheinischen Schiefergebirges

Stefan Wohnlich, Thorsten Gökpınar, Georg Wieber, Marion Stemke

In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurden in Deutschland die letzten Erzbergwerke stillgelegt und verschlossen. Der während der Abbauphase künstlich abgesenkte Grundwasserspiegel stieg nach der Stilllegung bis auf Ursprungsniveau wieder an. Dadurch wurden die Tiefbausohlen und Schächte geflutet und dem Zugriff des Menschen wieder entzogen. Am Lehrstuhl Angewandte Geologie der Ruhr-Universität Bochum wurden zum Zweck der Schachterkundungen zwei Unterwasserkameras gebaut und eingesetzt. Der Vortrag bringt erstmals faszinierende Bilder dieser seit einem halben Jahrhundert versunkenen bergmännischen Arbeitswelt. Während die Einbauten der Bergwerke oberhalb des Wasserspiegels weitgehend wieder entfernt wurden, sind diese unter Wasser noch erhalten und die Bilder und Videosequenzen machen den langsam voranschreitenden Verfall der Einbauten sichtbar. Viele Bilder zeigen, wie plötzlich der Abbau eingestellt wurde, vergessene Werkzeuge liegen noch wie gerade abgelegt auf den Balken und noch mit Erz beladene Hunte warten an den Füllorten.



Es sind jedoch auch neue Welten entstanden, die durch unterirdische Strömungen und hydrochemische Vorgänge erzeugt wurden. So schweben Ausfällungen und verrottendes Material in den Schachtwässern, am Boden und auf den Quereinbauten sammelt sich abgesunkener Schlamm und entgasendes CO₂ blubbert zur Oberfläche. Neben der Beschreibung des Zustandes werden aber auch die Möglichkeiten zur Nutzung der im Untergrund durch den Bergbau entstandenen großen Wasserreservoirs aufgezeigt und die Auswirkungen auf die Oberflächenwässer diskutiert.

Programmübersicht

Mittwoch, 21.03.2018

10:00			
12:00	Fortbildung I: Anforderungen an die Planung von geothermischen Anlagen sowie	Exkursion I: Spurenstoffe und Einträge	
12:30	Fortbildung II: Grundwasserneubildung: Prozesse, Entwicklungen, Einflüsse auf die Wasserwirtschaft	Exkursion II: Wasserversorgung und Braunkohlebergbau ...	Forum Junge Hydrogeologen
17:00		Exkursion III: Bergmännische Wasserwirtschaft ...	
18:00	Icebreaker und Registrierung im Foyer des Audimax		ITVA - Nachwuchsveranstaltung

Donnerstag, 22.03.2018

08:00	Registrierung im Foyer des Audimax		
09:00	Begrüßung und Eröffnung der Tagung		
09:30	Keynote I: Grant Ferguson: „Groundwater, Energy and Pore Space Management“		
10:15	Keynote II: Frans van de Ven: „Grundwasser in urbanen Räumen: Ressource und Risiko“		
11:00	Kaffeepause		
11:30	Grundwasser-Oberflächenwasser Interaktionen: Prozesse und Methoden	Geothermische Nutzung im Grundwasser: Auswirkungen, Qualitätssicherung, neue Techniken	Grubenwasser
12:45	Mittagspause		
14:00	Grundwasser-Oberflächenwasser Interaktionen: Prozesse und Methoden	Geothermische Nutzung im Grundwasser: Auswirkungen, Qualitätssicherung, neue Techniken	Grubenwasser
15:15	Kaffeepause		
15:45	Grundwasser-Oberflächenwasser Interaktionen: Prozesse und Methoden	Güte und Bewertung von Grundwassermodellen	Nitrat und Bedeutung der Denitrifikation in der Wasserversorgung
17:30	Vorstellung der Fachaussteller		
18:00	Mitgliederversammlung der FH-DGGV		
19:30	Gesellschaftsabend		

Freitag, 23.03.2018

09:00	Keynote III: Christian Wolkersdorfer: „Grubenwassermanagement 3.0 - Wie sieht die Zukunft aus?“		
09:45	Beiträge zur Hydrogeologie Südamerikas und Afrikas	Angewandte Hydrogeologie – Fallbeispiele der Staatlichen Geologischen Dienste	Organische Schadstoffe im Grundwasser
11:00	Kaffeepause		
11:30	Trinkwasser und Wasserversorgung	Angewandte Hydrogeologie – Fallbeispiele der Staatlichen Geologischen Dienste	Grundwassertemperaturen im urbanen Raum – Monitoring, Management u. Prozessverständnis anthropogener Einflussfaktoren
12:45	Mittagspause		
13:45	Postersession		
15:45	Trinkwasser und Wasserversorgung	Tiefengeothermie und Tiefengrundwasser	Grundwasserhochstände – Prozesse, Risiken, Planungshilfen
17:15	Ehrungen		
18:00	Abendvortrag		

Samstag, 24.03.2018

09:00	Keynote IV: Tibor Stigter: „Adapting to ...“		
09:30	Groundwater and Climate Change (co-organized by IAH-D)	Wasser und Umwelt in Südostasien	Reaktiver Stofftransport in heterogenen Grundwasserleitern
10:30	Kaffeepause		
11:00	Wasserwiederverwendung zur Grundwasseranreicherung	Wasser und Umwelt in Südostasien	Reaktiver Stofftransport in heterogenen Grundwasserleitern
11:45	Abschluss der Tagung		
13:00	Exkursion IV: Wasserwirtschaft im Emschergebiet	Exkursion V: Hydrogeologie, Bergbau und Wasserversorgung im Ruhrgebiet	Exkursion VI: Geothermische Nutzungen von Infrastrukturen und Grubenwässern ...

Eine detaillierte Übersicht des Programms finden Sie auf der Tagungswebseite.

Übersicht Poster

1 Auslaugung von Schadstoffen aus Berge-/Abraumhalden

P 1.1 *Christina Daiker, Simon Thiel, Thomas Schiedek*

Einfluss der saarländischen Montanindustrie auf Böden der Westpfalz anhand von PAK-Mustern

P 1.2 *Verena Luthe, Frank Wisotzky, Petra Hertel*

Der Castroper Höhenschotter im Einzugsgebiet Dorneburger Mühlenbach und Ostbach – Schadstoffsituation und Abbaureaktionen

P 1.3 *Sami Al Najem, Margot Isenbeck-Schröter, Martin Maier, Christian Scholz, Christian Knöchel, Jörn Müller, Dieter Riemann*

Entwicklung eines innovativen Verfahrens zur Sanierung eines arsenkontaminierten Grundwasserschadens durch aktive Mobilisierung

P 1.4 *Saroj Rai, Juan Velasco, Stefanie Schmidt, Claudia Cosma, Zahra Neumann, Thomas Schiedek*

Leaching of PAHs from Coal Mining Heap Samples from the Saarland

P 1.5 *Andrea Niedermayr, Ilka Hinzer, Frank Wisotzky*

Messungen von PAKs in Oberflächenwässern mit Hilfe der GC-MS

P 1.6 *Tatjana Enzinger, Sylke Hilberg, Dieter Bechtold*

Mobilisierung und Verfrachtung von Aluminium aus Tunnelausbruchsmaterial durch Veränderung des pH-Wertes im Grundwasser

P 1.7 *Simon Thiel, Christina Daiker, Thomas Schiedek*

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Bergehaldematerial des montanindustriell geprägten Saarlandes

P 1.8 *Felix Vetterlein, Christoph Gauert, Wolfgang Gossel*

Untersuchung von Stollenwässern des Altbergbaus im Unterharz und des südöstlichen Harzvorlandes

2 Grubenwasser

P 2.1 *Marcus Frenzel, Ulf Jenk, Michael Paul*

Luftdruckabhängigkeit des Grubenwasserspiegels am Beispiel der Grube Königstein

P 2.2 *Felix Jagert*

Hydrogeochemische Modellierung von Grubenwasser aus stillgelegten Steinkohlebergwerken: Konventionelle geothermische Nutzung und Wärmespeicherung

P 2.3 *Andreas Nasemann, Frank Wisotzky, Andre Banning*

Hydrochemie der Erbstollenwässer im östlichen Ruhrgebiet und deren Modellierung

P 2.4 *Marion Stemke, Georg Wieber, Stefan Wohnlich, Thorsten Gökpınar*

Neue Erkenntnisse in der Erfassung und Bildung von Schichtungen im Wasser gefluteter Bergwerksschächte

3 Tiefengeothermie und Tiefengrundwasser

P 3.1 **Heiko Dirks, Tilman Mieseler**

Das geothermische Potential der Tiefenaquifere auf der Arabischen Halbinsel

P 3.2 **Daniel Bohnsack, Kai Zoßeder**

Einfluss variierender Druck- und Temperaturbedingungen auf die hydraulischen Gesteinsparameter von jurassischen Karbonatgesteinen des Bayerischen Molassebeckens

P 3.3 **Florian Heine, Kai Zoßeder, Florian Einsiedl**

Was können wir aus den Ergebnissen eines isopen- und hydrochemisch begleiteten Langzeitpumpversuchs im Oberjura-Grundwasserleiter des Bayerischen Molassebeckens in Hinblick einer Reservoircharakterisierung lernen?

P 3.4 **Florian Konrad, Kai Zoßeder**

Implications of different fault zone appearances on pressure signals in pumping tests for a typical setting of the Upper Jurassic deep geothermal reservoir in the South German Molasse Basin

P 3.5 **Otto Rüber, Stephan Kistinger**

Erstellung eines Hydrogeologischen Standortmodells im Bereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

P 3.6 **Maren Brehme, Guido Blöcher, Simona Regenspurg, Peter Leary, Fatih Bulut, Harald Milsch, Axel Sanden, Floris Veeger, Siklosi Istvan, Robertas Valickas, Sigita Petrauskas**

Physical, chemical and biological processes controlling groundwater flow in geothermal reservoirs

4 Geothermische Nutzung im Grundwasser: Auswirkungen, Qualitätssicherung, neue Techniken

P 4.1 **Paul Fleuchaus, Bas Godschalk, Ingrid Stober, Philipp Blum**

Weltweite Entwicklung von Aquiferspeichern – Risiken und Chancen

P 4.2 **Fabian Böttcher, Kai Zoßeder**

Spatial assessment of the thermal groundwater potential

P 4.3 **Manuel Gossler, Kai Zoßeder**

Thermal Retardation in Highly Conductive Aquifers

P 4.4 **Michael Kühn, Tim Schöne**

Einfluss von Erdbeben auf den Wasserstand im geothermischen Reservoir von Waiwera (Neuseeland)

P 4.5 **Florian Ludwig, Uwe Hiester, Volker Jungk, Claus Nitsche, Dieter Poetke**

Umweltverträgliche Nutzung geothermischer Wärmespeicher - Ermittlung und Bewertung thermischer Veränderungen im Grundwasser, thermische Bewirtschaftung des Grundwassers, Handlungsempfehlungen

P 4.6 **Carolin Tissen, Kathrin Menberg, Peter Bayer, Philipp Blum**

Heat supply by shallow geothermal energy in Karlsruhe

P 4.7 **Georg Wieber, Frieder Enzmann, Michael Kersten, Marion Stemke**

Geothermische Nutzung einer ehemaligen Eisenerzgrube im Siegerland

5 Organische Schadstoffe im Grundwasser

P 5.1 **Thomas Demmel, Thomas R. Rüde, Uwe Boester, Jan Schwarzbauer, Roland Schindler**

Einfluss von präferentiellen Fließwegen auf den Transport von Umweltchemikalien in Lössböden am Beispiel des Lysimeterstandortes Rheindahlen

P 5.2 **Felix Möhler, Dietmar Schüfer**

Innovative modellgestützte Methoden zur Lokalisierung von Schadstoffquellen im Grundwasser - Instationary Capture Zones und Inverse Transportmodellierung

P 5.3 **Thomas Schiedek, Lidia Nersissian, Steffen Birk, Markus Herndl**

Massenbilanzierung von atmogenen PAK mit alpinen Lysimeterdaten

6 Grundwasserhochstände – Prozesse, Risiken, Planungshilfen

P 6.1 **Anke Boockmeyer, Christoph Weidner**

Flurabstandsprognose nach Grundwasserwiederanstieg: Berechnung von Bodenbewegungen im Rheinischen Braunkohlenrevier

P 6.2 **Christoph Weidner, Anke Boockmeyer, Dorothee Levacher, Dirk Hüsener**

Grundwassermodellierung für die Prognose von Flurabständen im Rheinischen Braunkohlenrevier

7 Grundwassertemperaturen im urbanen Raum – Monitoring, Management und Prozessverständnis anthropogener Einflussfaktoren

P 7.1 **Manuel Kreck, Thomas Vienken**

Kritische Betrachtung räumlich und zeitlich hochaufgelöster Grundwassertemperaturmessungen im urbanen Raum - Fehlerquellen und Einflussfaktoren

P 7.2 **Thomas Vienken, Manuel Kreck, Peter Dietrich**

Räumlich und zeitlich hochaufgelöstes Grundwassertemperaturmonitoring in einem Wohnquartier mit starker oberflächennaher geothermischer Nutzung – Erkenntnisse und Lehren

P 7.3 **Thomas Vienken, Alena Bleicher**

Das Projekt TEACHENER – Integration sozialwissenschaftlicher Inhalte in die Ausbildung von Naturwissenschaftlern in der Energieforschung

8 Karstgrundwasserleiter – Neue Entwicklungen und Methoden in Charakterisierung und Modellierung dualer Fließsysteme

P 8.2 **Christoph Butscher, Maximilian Wunderle, Luisa Künemund, Philipp Blum**

Prognose von karstbedingten Gefährdungen im Tunnelbau mit der KarstALEA-Methode: Fallbeispiel Tunnel Alabastieg

P 8.3 **Fernando Mazo D'Affonseca, Hermann Rügner, Michael Finkel, Karsten Osenbrück, Olaf Cirpka**

Anwendung eines innovativen geologischen Modellierungsansatzes in der Karsthydrogeologie

P 8.4 **Benjamin Schima, Thomas Reimann, Andreas Hartmann**

Sensitivitätsanalyse eines räumlich verteilten Karst-Grundwassermodells an einem Karstaquifer in Florida

P 8.6 Sullivan Timothy P., Gao Yongli, Thomas Reimann

Incorporation of discrete turbulent conduit flow in a karst Equivalent Porous Media model

P 8.7 Marcus Veltri, Alexa Terrell, Jannes Kordilla, Sebastian Schmidt, Martin Sauter

Effects of fault systems on unsaturated and saturated flow dynamics in karst aquifers

P 8.8 Rafael Schöffner, Ingo Sass

Ergebnisse von Markierungsversuchen am Grinberg, Tuxertal, Österreich

9 Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen: Prozesse und Methoden

P 9.1 Michael E. Böttcher, Ernst O. Böttcher, Tillman M.C. Böttcher, Julia Westphal, Marko Lipka, Iris Schmiedinger, Vera Winde

A water isotope approach to fresh water sources for the North German coast

P 9.2 Marko Lipka, Jürgen Sültenfuss, Zijun Wu, Peter Escher, Iris Schmiedinger, Ulrich Struck, Olaf Dellwig, Vera Winde, Michael E. Böttcher

A temporal iron curtain: The hydro- and multi-isotope geochemistry of iron-rich ground waters emerging at the southern Baltic Sea coast line

P 9.3 Robert Brünjes, Philipp Höhn, Thilo Hofmann

Umweltverhalten von organischen Gadoliniumkomplexen

P 9.4 Leon Diehl, Victoria Burke, Gudrun Massmann

Kurzsäulenversuche zum Abbau organischer Spurenstoffe in der Infiltrationszone von Berliner Seen

P 9.5 Dominik Eckert, Ulrich Lang

Grundwasser-See-Interaktion: Bodensee und Ammersee

P 9.6 Benjamin Gilfedder, Clarissa Glasser, Stefan Durejka, Sven Frei

Tidal creeks (Priele) as hot-spots for groundwater exchange on Barrier Islands: an example from Spiekeroog

P 9.7 Jan Frederik Hartmann, Yannic Wellach, Margot Isenbeck-Schröter, Frank Keppler

Freisetzungs- und Umsatzprozesse des Methans in einem Grundwasser-gepeisten Baggersee

P 9.8 Philipp Höhn, Flores-Orozco Adrian, Hofmann Thilo

Spektrale Induzierte Polarisation zur Untersuchung von Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen

P 9.9 Tobias Holt, Stephan Seibert, Janek Greskowiak, Jürgen Sültenfuß, Gudrun Massmann

Entwicklung einer jungen Süßwasserlinse auf einer sich bildenden Barriereinsel (Ostplate, Spiekeroog)

P 9.10 Zahra Salimi, Ali Mahdavi Mazdeh, Stefan Wöhrlich

Experimental Investigation on the Infiltrated Water Movement in Hydraulically Connected Groundwater and Surface Water

P 9.11 Ali Mahdavi Mazdeh, Stefan Wöhrlich

Experimental Study of the Flow Patterns in Capillary Zone

P 9.12 Mithra Hajati, Edwin Sutanudjaja, Nils Moosdorf

Ein satellitengestütztes numerisches Modell für regionalen submarinen Grundwasserabfluss am Beispiel von Java, Indonesien

P 9.13 Andrea Niedermayr, Dennis Gohlke, Fateh Zafar, Frank Wisotzky

Bildung von Eisenhydroxyden durch Oxidation

- P 9.14 **Robert Pinzinger, Peter-Wolfgang Gräber, Falk Händel, Christian Engelmann, Rudolf Liedl, René Blankenburg**
Simulation von Infiltrationsprozessen während der Versickerung von gereinigten Abwässern mit PCSiwaPro®
- P 9.15 **Jana Schaaf, Frank Wisotzky, Andrea Niedermayr**
Untersuchung der Veränderung der Wasserqualität nach Quellaustritt im Bereich der Düsselquellen im Velberter Sattel
- P 9.16 **Lennart Schelter, Caroline Ganai, Christian Grimm, Holger Schüttrumpf**
Einfluss von Bewässerungsmaßnahmen auf Grundwasserressourcen in Pakistan
- P 9.17 **Christian Anibas, Uwe Schneidewind**
Abschätzung räumlich-zeitlicher Muster von Grundwasser-Oberflächenwasseraustausch an der Aa, Belgien
- P 9.18 **Sonja Schröter, Wilfried Schneider**
Temperaturmessungen zur Identifizierung des Grundwasseranstromes eines Oberflächengewässers.
- P 9.19 **Stephan Seibert, Paul Königer, Inga Großkopf, Patrick Hähnel, Janek Greskowiak, Gudrun Massmann**
Abschätzung von Grundwasserneubildungsraten an einem Dünenstandort auf der Nordseeinsel Spiekeroog mit Hilfe von Tracerexperimenten und Wasserhaushaltsmodellierungen
- P 9.20 **Ingrid Stober, Holger Teiber, Xiaoyan Li, Natalie Jendryszczyk, Kurt Bucher**
Chemical composition of surface- and groundwater in fast-weathering silicate rocks in the Seiland Igneous Province, North Norway
- P 9.21 **Stefan Vomberg, Michael Meid, Thorsten Trapp, Petra Hertel**
Grundwassersanierung im Abstrom einer ehemaligen Steinkohlezeche (Lothringen V) mit Imprägnierungsanlagen in Bochum Gerthe
- P 9.22 **Julia Westphal, Iris Schmiedinger, Jan Scholten, Willard. S. Moore, Feng Hsu, Michael. E. Böttcher**
Water and material exchange at the seawater - freshwater interface, southern Baltic Sea
- P 9.23 **Sebastian Lohr, Johannes Barth**
Verschiebungen des $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ Verhältnisses von Grundwasser durch CO_2 im Untergrund

10 Wasser und Umwelt in Südostasien

- P 10.1 **Quang Tuan Tran, Van Lam Nguyen**
Mine wastewater chemical composition in Khe Cham coal mine in Vietnam: features and some impacts
- P 10.2 **Frank Wagner, Rüdiger Ludwig, Hoan Hoang, Ursula Noell, Quy Nhan Pham, Flemming Larsen**
Genesis of an economic relevant fresh groundwater lens in Pleistocene/ Neogene aquifers in Nam Dinh province (Red River Delta, Vietnam).

11 Beiträge zur Hydrogeologie Südamerikas und Afrikas

- P 11.1 **Georg Houben, Markus Wallner, Stefan Kaufhold, Christoph Lohe, Martin Quinger**
Erkundung von tiefen Grundwasserleitern in Nord-Namibia
- P 11.2 **Christoph Neukum, Helene Rieckh, Mélanie Ndedje-Allah Ronelngar, Djoret Daïra, Sara Vassolo**
Groundwater Quality of the Northern Lake Chad Basin
- P 11.3 **Stefan Broda, Rabea Muhrez, Michaela Rückl, Matthias Heckmann, Jörg Reichling**
Grundwasservulnerabilität gegenüber Klimawandel in der Sahelzone am Beispiel Salamat (Tschad)

P 11.4 **Kolja Bosch, Abdoulahi Abou, Didier Sèyivè Zinsou, Hamissou Abdourahamane Djibo**

The Niger River catchment – Development of a regional groundwater monitoring network

P 11.5 **Tesfay Mebrahtu, Stefan Wohnlich**

The Effect of Groundwater and Rainfall on Landslide Triggering in the Central Highlands of Ethiopia: the case of Debre Sina area

P 11.6 **Christoph Neukum, Christian Tiberghien, Matthias Heckmann, Kai Hahne, Helena Pfunt, Sara Vassolo**

Hydrogeology of the Nyanzari Catchment, Gitega, Burundi

12 Reaktiver Stofftransport in heterogenen Grundwasserleitern

P 12.1 **Kennedy O. Doro, Eugen Martac**

In Situ hydraulic parameter estimates for contaminated sites management – current industry practices vis-a-vis state of the art.

P 12.2 **Adalbert Huss**

Kritische Perkolation und Stofftransport

P 12.3 **Adalbert Huss**

Konforme Abbildungen für die Simulation der Schadstoffausbreitung

P 12.4 **Christian Koch, Felix Bilek, Kai Mazur**

10 Jahre reaktives Mehrkomponenten-Transportmodell der Lausitz zur Prognose von Transport und Stoffausträgen

13 Nitrat und Bedeutung der Denitrifikation in der Wasserversorgung

P 13.1 **Johannes Christoph Haas, Sajeev Erangu Purath Mohankumar**

Groundwater, climate change and air pollution impacts from manure amendment to agricultural soils

P 13.2 **Alexandra Giber, Christine Kübeck, Christoph Schüth, Frank Steinmann, Thomas Olderog**

Quantification of nitrate reduction potential and kinetics of soil samples obtained from sandy aquifers, Schleswig-Holstein, Germany

P 13.3 **Felix Ortmeyer, Axel Bergmann, Frank Wisotzky**

Nitrateintrag und Prognose zum Nitratabbau im Wassergewinnungsgebiet Holsterhausen/Üfter Mark der RWW mbH

P 13.4 **Jens Gröger-Trampe, Sabine Heumann**

N₂ArCheck – Ein Tool zur Auswertung und Qualitätssicherung von Ergebnissen der N₂/Ar-Methode

P 13.5 **Lisa Wild, Arno Rein, Florian Einsiedl**

Monte Carlo simulations as a tool to interpret stable isotope analyses of nitrate in groundwater of a complex porous aquifer system

P 13.6 **Nina Wurth, Frank Wisotzky, Sabine Bergmann**

Ermittlung der Ursachen von Schwellenwertüberschreitungen von Ammonium (und Begleitparametern) im oberflächennahen Grundwasser unter Berücksichtigung des landwirtschaftlichen Einflusses und Abgrenzung von geogenen und anderen Quellen in NRW

P 13.7 **Georg Berthold, Bernd Leßmann, Harald Rückert, Christoph Kludt**

Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen

14 Güte und Bewertung von Grundwassermodellen

P 14.1 **Sven Fuchs, Ziesche Michael, Nillert Peter**

Eine kritische Betrachtung zu empirischen Porositätsschätzungen auf Basis granulometrischer Untersuchungen als Datenbasis für geohydraulische Berechnungen

P 14.2 **Jonas Haase, Wolfgang Gossel, Patricia Göbel**

Numerisches Grundwasserströmungsmodell für das isolierte Grundwassersystem Baumberge (Kreis Coesfeld, NRW)

P 14.3 **Marc Ohmer, Tanja Liesch, Nadine Göppert, Nico Goldscheider**

Interpolationsmethoden für Grundwassergleichen – Auswirkungen der Auswahl auf weitere Berechnungen am Beispiel von Austauschvorgängen in der Region Donauried

P 14.4 **Björn Panteleit, Sven Jensen**

FREEWAT-FREE and open source Werkzeuge zum Wassermanagement

15 Groundwater and Climate Change (co-organized by IAH-D)

P 15.2 **Eva González, Nico Deus, Jörg Elbracht, Mohammad Azizur Rahman, Helga Wiederhold, Bernhard Siemon**

TOPSOIL - Grundwasserversalzung in der Elbe-Weser-Region

P 15.3 **Andreas Günther, Maxi Bretthauer, Stefan Broda, Patrick Clos, Jörg Reichling**

Shallow aquifer diagnostics across Europe at the overview scale

P 15.4 **Christian Moeck, Jana von Freyberg, Mario Schirmer**

Vorhersagen der Grundwasserneubildung in gegensätzlichen Klima: Der Effekt von Modelvereinfachungen und Kalibration auf simulierte Grundwasserneubildungsraten

16 Trinkwasser und Wasserversorgung

P 16.1 **Thomas Grischek, Sebastian Paufler, Kerry F. Paul, Britta Weber**

Erweiterung des Anwendungsbereiches der kf-Wert-Berechnungsformel nach Beyer & Schweiger (1969)

P 16.2 **Anna-Kathrina Jenner, M.E. Böttcher, I. Schmiedinger, M. Voss, G. Böttcher, B. Schwerdtfeger**

Groundwater Development in North-Eastern Germany as deduced from the hydrogeochemical and stable isotopic composition of selected drinking waters

P 16.3 **Osman Can Kandemiroglu, Frank Wisotzky**

Vorkommen von organischen Spurenstoffen (Arzneimittel, Pestizide) im Grundwasserleitern in Nordrhein-Westfalen

P 16.4 **Dustin Knabe, Hans-Peter Rohns, Christian Griebler, Alberto Guadagnini, Björn Droste, Irina Engelhardt**

Quantitative Ansätze für ein modell-basiertes Risikomanagement bei der Uferfiltration in hydraulisch und hydrogeochemisch heterogenen Aquifersystemen

P 16.5 **Paul Knöll, Traugott Scheytt**

Tracerversuch zur Untersuchung von Karsteinzugsgebieten bei Sigmaringen (Schwäbische Alb)

P 16.6 *Dietmar Schäfer, Daniel-Phillip Nienstedt, Dorothee Levacher*

Modellierung von unter Tagebaueinfluss zeitlich verschwenkenden Einzugsgebieten von Grundwasserwerken im Rheinischen Braunkohlerevier

P 16.7 *Thomas Voltz, Michel Monse, Thomas Grischek*

Energieeffizienter Betrieb von Brunnengruppen

17 Wasserwiederverwendung zur Grundwasseranreicherung

P 17.1 *Thomas Fichtner, Felix Barquero, Catalin Stefan*

Ermittlung optimaler Bedingungen für die Minimierung von Kolmationsprozessen während des Betriebes von Infiltrationsbecken zur künstlichen Grundwasseranreicherung

P 17.2 *Jana Glass, Catalin Stefan, Ralf Junghanns, Jana Sallwey, Thomas Fichtner*

Webbasierte Simulationsplattform für die Planung und Bewertung von Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung

P 17.3 *U. Hübner, S. Karakurt, V. Zhiteneva, K. Hellauer, J.E. Drewes*

Development of a treatment concept based on technically modified hybrid filtration systems for indirect potable reuse

P 17.4 *Fritz Kalwa, Martin Binder, Falk Händel*

Biologische und physikalische Kolmation an Infiltrationsbrunnen – Der Einfluss des Brunnendurchmessers

18 Angewandte Hydrogeologie – Fallbeispiele der Staatlichen Geologischen Dienste

P 18.1 *Martin Herfort*

Die Rolle der Hydrogeologie bei der Standortsuche geologischer Tiefenlager: Fallbeispiel Schweiz

P 18.2 *Andreas Kubier, Dörte Budziak, Dieter de Vries, Jörg Elbracht, Kay Hamer, Thomas Pichler*

Bewertung erhöhter Cadmiumgehalte im Grundwasser von Niedersachsen und Bremen

P 18.3 *Lara Wenzel, Thomas Schiedek, Sven Rumohr*

Artesisch gespannte Grundwässer in Hessen: Analyse vorhandener Datensätze zur Bestimmung der natürlichen Rahmenbedingungen

P 18.4 *Leonard Stoeckl, Sven Altfelder, Thomas Himmelsbach*

Zivilschutz Einsatz nach unkontrollierter Flutung von Salzbergwerken in der Ukraine

19 Forum Junge Hydrogeologen

P 19.1 *Charlotte Altmannsberger, Michael Schneider, Ulrich Struck, Gesche Grützmacher*

Ermittlung der Uferfiltratanteile der Brunnen des Wasserwerks Friedrichshagen, Berlin

P 19.2 *Christoph Pflug*

Grundwasserversalzung in den Einzugsgebieten der Berliner Wasserbetriebe – Eine physikochemische Charakterisierung

P 19.3 *Babette Gabriel, Lutz Thomas, Michael Schneider*

Identifizierung hydrogeochemischer Prozesse zur Charakterisierung relevanter Sulfatquellen in einem urbanen Grundwasserleiter - am Beispiel Berlin

- P 19.4 **Maike Meurer, Andre Banning**
Vererzungen (Cu, U) im Buntsandstein Helgolands – Vorkommen und Auswirkung auf die Brack- und Trinkwasserqualität
- P 19.6 **Eva González, Jörg Elbracht, Melanie Witthöft**
Die Schwindequelle - Größte Lockergesteinsquelle in Niedersachsen
- P 19.7 **Reinhard Maxbauer**
Hydrogeologie im Einflussbereich einer postglazialen Großmassenbewegung
- P 19.8 **Rebekka Calaoagan, Frank Wisotzky, Sabine Bergmann**
Beschreibung des Freisetzungsverhaltens der für Ersatzbaustoffe typischen Inhaltsstoffe in Abhängigkeit des Wasser-Feststoffverhältnisses
- P 19.9 **Felix Vollberg, Marc Walther, Nils Moosdorf**
Can fresh submarine groundwater discharge initiate pathogenicity in *Vibrio* sp. settled in marine sediments?
- P 19.10 **Aparna Chandrasekar, Rudolf Liedl, David Kneis**
Modelling the transport of antibiotics, antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistant genes in the subsurface- Reuse of treated waste water applications
- P 19.11 **Tobias Vaitl, Stefan Wohnlich**
Drei Multi-Tracerversuche im Massenkalk von Hemer – Was wissen wir über dieses hochdynamische Karstsystem?
- P 19.12 **Christoph Knuth, Stefan Wohnlich, Stefan Pollak**
Untersuchung der Bildung von Scales mittels eines Hochdruck-Hochtemperatur-Säulenexperiments
- P 19.13 **Sascha Frank, Stefan Wohnlich, Jürgen Schreuer**
Reaktive Reservoirsysteme - Kristallkeimbildung und Filterprozesse in geothermischen Systemen

Plenarvorträge

22.03.2018, 9:30 Uhr, Audimax

Groundwater, Energy and Pore Space Management

Grant Ferguson

*Department of Civil, Geological and Environmental Engineering
University of Saskatchewan
Saskatoon, Canada*



Competition between different subsurface uses is an emerging concern. Requirements for water resources, various types of energy production, waste management and subsurface utilities can result in conflicts. Such competition is particularly acute in areas of oil and gas development and urban areas.

Areas with oil and gas development commonly have both older conventional wells and new unconventional wells, along with disposal wells and source water wells. These areas have been targets for carbon sequestration and geothermal development. The area containing the Bakken Formation in the United States and Canada is an example of areas with a number of these developments. Thousands of unconventional wells have been installed in the Bakken Formation itself over the past decade. However, this area has a history of oil and gas development reaching back to the 1950s. Many of these older wells are still active and enhanced oil recovery is common in the region. Other older wells exist in various states of suspension or abandonment. This region also includes numerous disposal wells, two carbon sequestration projects and potash mining operations. Geothermal energy development is planned for the basal sandstone unit in the region and through utilization of co-produced waters.

Similar problems are known to exist in urban areas. Integration of geothermal energy use into groundwater management plans has been challenging and has led to unforeseen problems in some areas. In one case in eastern Canada, closed-loop systems in certain groundwater protection zones were banned due to concerns about glycol leaks. In Winnipeg, Canada, a number of geotechnical issues and flooding of basements occurred after use of the underlying aquifer shifted from consumptive use to nonconsumptive use following a policy change regarding thermal use of groundwater.

Determining how these various elements fit together is challenging, from both technical and policy perspectives. However, these issues are not insurmountable and in some cases synergies can be found.

22.03.2018, 10:15 Uhr, Audimax

Grundwasser in urbanen Räumen: Ressource und Risiko

Frans H.M. van de Ven

*Urban Land & Water Management team at Deltares, Delft
Faculty of Civil Engineering and Geosciences at Delft University of Technology
Delft, Netherlands*



Obwohl unsichtbar, erfüllt das Grundwasser in urbanen Räumen essentielle Aufgaben für das Leben in einer Stadt. Es nährt nicht nur die Pflanzen und Bäume, sondern es verzögert den Regenwasserabfluss und spielt eine wichtige Rolle beim Abbau und Transport von Schadstoffen. Wichtigste Kenngröße ist der Grundwasserstand. Zu hohe Grundwasserstände können „Grundwasser-Überschwemmungen“ in Kellern, Tiefgaragen und Tunnels verursachen; in Wohnungen eindringende Feuchtigkeit kann sogar zu einer Erkrankung der Bewohner führen. Zu wenig Grundwasser dagegen führt zunächst zur Vertrocknung von Pflanzen, kann aber auch zu Bodensenkungen, Torfoxidation, Verrottung hölzerner Pfahlgründungen und einer Verschlechterung der Grundwasserbeschaffenheit führen. Solche Probleme sind oft lange Zeit unsichtbar, bis auf einmal direkte Schäden sichtbar werden. Da das Grundwasser unsichtbar ist und nur langsam fließt können auch Probleme nur langsam korrigiert werden.

Bodennutzung und Bodenverbauung in der Stadt haben direkten Einfluss auf die Grundwasserneubildung und -speicherung. Große Teile der Stadt sind mit Gebäuden, Asphalt- oder Betondecken versiegelt, so dass dort kein Regenwasser versickern kann. In modernen Stadtentwässerungssystemen wird aber zur Regenwasserentsorgung auf eine direkte Versickerung des Niederschlagswassers gesetzt, um die ins Kanalnetz eingebrachte Abflussmenge möglichst klein zu halten. Die Grundwasserneubildung wird dadurch jedoch vergrößert, dies führt wiederum zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels. Von vielen – auch von Experten aus dem Bereich der Geohydrologie – wird die Grundwasserneubildung in der Stadt immer noch unterschätzt.

Grundwasser ist auch eine wichtige Ressource, nicht nur für Trinkwasser, Haushaltwasser und industrielles Prozesswasser. Urbanes Grundwasser wird mehr und mehr als Energiespeicher verwendet. Weil in urbanen Gebieten viele Nutzungsmöglichkeiten und Einwirkungen konzentriert aufeinander treffen, ist eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers besonders wichtig. Nachhaltiges Grundwassermanagement ist nicht nur eine Aufgabe der Wasserversorgungs- und Abwasserunternehmen, sondern auch der Stadtplaner, der Baubehörden und der Grünflächenämter.

Für ein effektives Grundwassermanagement ist es entscheidend, das Grundwassersystem zu verstehen. Messungen des Grundwassers sind daher besonders wichtig, um die Entwicklung im Grundwasser nach zu vollziehen. Die Grundwasserdynamik an einer Messstelle kann wegen lokalen Unterschieden in Bodenaufbau, Grundwasserneubildung usw. bereits wenige Meter weiter wesentlich anders sein. Maßnahmen zur Kontrolle der Grundwasserdynamik gibt es viele. Gegen zu hohe Grundwasserstände kann mit der Installation von Drainagerohren vorgebeugt werden. Problematisch sind aber nachträgliche Maßnahmen, wenn während der Bauphase nicht mit hohen Grundwasserständen gerechnet wurde.

Die nachhaltige Nutzung des Grundwassers in städtischen Bereichen ist bisher nur teilweise entwickelt. Das Grundwassersystem wird öfters als Abflussweg für das Regenwasser genutzt; die Nutzung für die lokale Wasserversorgung wird wegen abnehmender Qualität immer seltener, obwohl das lokale Grundwasser sich oft als Brauchwasser für Toilettenspülung, Bewässerung der Gärten und Verdunstungskühlung auf Dachflächen eignen würde. Eine Kombination von Regenwasserversickerung und Nutzung dieses gespeicherten Grundwassers ist jedoch naheliegend, da der Wasserbedarf in der Stadt so reduziert werden kann, und damit auch der Einfluss auf die Umwelt.

23.03.2018, 9:00 Uhr, HZO 30

Grubenwassermanagement 3.0 - Wie sieht die Zukunft aus?

Christian Wolkersdorfer

*Tshwane University of Technology, Department of Environmental Water and Earth Science
Pretoria, South Africa*

*Lappeenranta University of Technology, Laboratory of Green Chemistry
Lappeenranta, Finland*



Vor 150 Jahren wurde Grubenwasser nachweislich erstmals mit chemischen Methoden neutralisiert. Seitdem wurde diese Technologie kontinuierlich verbessert, aber wir sind weit davon entfernt, neue Technologien regelmäßig einzusetzen. Obwohl diese neuen zuverlässigeren Technologien existieren, öffnen sich Bergwerksbetriebe diesen nur allmählich. Darüber hinaus besteht bislang kein holistisches Konzept, um Grubenwasser als eine Ressource zu nutzen anstatt als Abfall anzusehen. Im Vortrag wird ein möglicher Weg aufgezeichnet, mit dem es gelingen könnte, das Management von Grubenwasser zu optimieren und neue Technologien zu entwickeln, indem alle beteiligten Partner ihre Zusammenarbeit optimieren oder Forschung und Entwicklung fördern.

24.03.2018, 9:00 Uhr, in der Session "Groundwater and Climate Change"

Adapting to climate and global change: the role of groundwater

Tibor Y. Stigter

*Hydrogeology and Groundwater Resources
IHE Delft Institute for Water Education
Delft, Netherlands*



As the largest liquid freshwater reservoir on earth, groundwater has a huge environmental and economic value, but understanding its role in adaptation to climate and global change, including socio-economic development, is complex. It requires the analysis of a vast number of factors, such as: i) the presence of groundwater (varying in space and time); ii) its interaction with other components of the water cycle; iii) natural feedback mechanisms between groundwater and climate; iv) current impacts from human activities; v) expected impacts from climate change and socio-economic development; and vi) the response of groundwater to targeted adaptation and mitigation measures.

For groundwater availability a crucial parameter is recharge, and direct negative impacts from climate change relate to predicted long-term reductions in rainfall in a number of hotspot regions across the globe, with a high level of consensus among climate models. Intensification of rainfall, predicted by the same models, may partly counter this effect by increasing recharge in soils with high infiltration rates. On the other hand, socio-economic development linked to urban growth and building in recharge areas can greatly reduce the soil permeability and related infiltration rates. Protecting these areas and enhancing aquifer recharge and nature-based storage are thus potentially effective adaptation measures, although their implementation poses a number of challenges.

Groundwater quality has largely been affected by human activities worldwide. Through higher recharge rates climate change can promote leaching of contaminants present at the surface towards unconfined aquifers in some areas. In others, increased evapotranspiration and lower recharge may actually cause the increased mineralisation of groundwater in shallow aquifers, especially under irrigated land. Sea level rise can promote seawater intrusion into lowland groundwater systems, either horizontally or vertically following storm surges and coastal flooding. In certain regions rates of land subsidence linked to groundwater exploitation can actually largely exceed those of sea level rise.

On the demand side, global warming may lead to increased evapotranspiration rates, particularly relevant for agriculture as the largest freshwater consumer, but also for groundwater dependent wetlands and ecosystems. Demand will further rise during the longer-lasting and/or more frequently occurring droughts, but may be partly offset by the increased atmospheric CO₂ content reducing stomatal functioning. Adaptation can occur through changes in land use, crop type and crop characteristics. At the same time, increasing water demands caused by a growing population, changing habits or other socio-economic drivers may be equally preoccupying in some areas.

As the level of impact from climate change and/or socio-economic development on groundwater varies largely between areas, regional and local assessments are essential to understand the role groundwater can play in adaptation. Moreover, the different levels and sources of uncertainty inevitably present in climate change impact studies, from the CO₂ emission scenarios and climate models to the downscaling techniques and hydrological models, need to be adequately assessed and incorporated into adaptation strategies, but should not be used to justify the lack of action. Adaptation is needed, and the role of groundwater will be substantial.

1 Auslaugung von Schadstoffen aus Berge-/Abraumhalden

Poster

P 1.1

Einfluss der saarländischen Montanindustrie auf Böden der Westpfalz anhand von PAK-Mustern

Christina Daiker¹, Simon Thiel¹, Thomas Schiedek¹

¹ Hydrogeologie, TU Darmstadt

Kontakt: schiedek@geo.tu-darmstadt.de

Obwohl sich PAK auch bei natürlichen Vorgängen bilden, spielen anthropogene Prozesse eine weitaus größere Rolle bei der atmosphärischen Freisetzung der Schadstoffe in die Umwelt. Für die ländlich geprägte Westpfalz zählen kleine und mittelständische Betriebe und Haushalte zu den lokalen Schadstoffemittenten fossiler Energieträger. Darüber hinaus ist aber auch die Montanindustrie des an die Westpfalz angrenzenden Saarlandes als lokaler PAK-Emittent einzustufen. Aufgrund der räumlichen Nähe ist eine Beeinflussung der Böden und Wässer des Untersuchungsgebietes durch die bis ins Jahr 2012 im Saarland abgebaute und verarbeitete Steinkohle nicht auszuschließen (Lima et al. 2005, Fette & Germer 2014, Slotta 2012).

Der atmogene Eintrag von PAK in Böden der Westpfalz wurde mit Grünlandflächen-Proben bis in 30 cm Tiefe charakterisiert und quantifiziert. Der Median für die Bodenproben der Grünlandflächen lag in den oberen 0 - 10 cm bei 265 µg/kg (PAK16) und nahm bis zum untersten Tiefenabschnitt (20 - 30 cm) auf 101 µg/kg ab. Der höchste Messwert des Untersuchungsgebietes wurde auf einer Grünlandfläche im Südwesten des Untersuchungsgebietes mit 709 µg/kg erreicht. Hinsichtlich der PAK-Gehalte der Böden kann die Westpfalz einem ländlichen Raum zugeordnet werden. Ein Vergleich der ermittelten PAK-Gehalte und Verteilungsmuster mit Untersuchungsergebnissen für das gesamte Bundesland Rheinland-Pfalz zeigt zudem eine gute Übereinstimmung.

Neben den Böden der Grünlandflächen wurden an einigen Standorten zusätzlich Waldproben der oberen 10 cm untersucht. Mit einem Median von 331 µg/kg und einem Spitzenwert von 1.011 µg/kg (PAK16) in der westpfälzischen Moorniederung zeigt sich die Interzeptionswirkung der Wälder. Ein Vergleich zwischen den Wald- und Grünlandproben zeigt trotz abweichender PAK16 Gehalte ein ähnliches PAK-Verteilungsmuster.

Um zu klären, welchen Einfluss die saarländische Montanindustrie als Emissionsquelle auf das Untersuchungsgebiet hat, wurde das PAK20-Verteilungsmuster im Detail betrachtet. Dabei lag der Fokus auf den niedermolekularen PAK-Einzelverbindungen Naphthalin, Methyl-Naphthalin und Phenanthren. Diese Verbindungen sind typisch für die Verbrennung der hochvolatilen bituminösen saarländischen Steinkohle. Die Ergebnisse zeigen, dass die Böden der Westpfalz insgesamt von höhermolekularen PAK dominiert werden. Die Muster der niedermolekularen Zielsubstanzen lassen keine eindeutige Beeinflussung durch die Verbrennung der Saarkohle ableiten. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse eines im Untersuchungsgebiet aufgestellten Depositionssammlers, dass das für die Verbrennung der Saarkohle spezifische PAK-Muster heute derart geringe Anteile am Schadstoffgehalt der Atmosphäre hat, dass sich dieses Muster nicht hervorhebt. Ein Vergleich der Ergebnisse des Depositionssammlers mit denen der Böden zeigt, dass die Böden den aktuellen atmosphärischen Eintrag widerspiegeln.

Literatur

- Fette, H.J. & Germer, S. (2014): Strukturen der Westpfalz – Ein Überblick. – In: Entwicklungsperspektiven in der Westpfalz. Denkanstöße, Analysen, Hintergründe in Zeiten des demografischen Wandels. Herzog, E., Eierdanz, F., Ottersböck, N., Wanielik, B. und Weber, H. (Hrsg.), Mainz, 34–55.
- Lima, A.L.C., Farrington, J.W. & Reddy, C.M. (2005): Combustion-Derived Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment – A Review. – In: Environmental Forensics, 6, 109–131.

Slotta, D. (2012): Der Steinkohlenbergbau an der Saar – seine Geschichte und sein bauliches kulturelles Erbe. – In: Der saarländische Steinkohlenbergbau. Dokumentation seiner historischen Bedeutung und seines kulturellen Erbes. Pohmer, K. (Hrsg.), RAG Aktiengesellschaft, Institut für Landeskunde im Saarland, Saarbrücken, 120–187.

P 1.2

Der Castroper Höhenschotter im Einzugsgebiet Dorneburger Mühlenbach und Ostbach – Schadstoffsituation und Abbaureaktionen

Verena Luthe¹, Frank Wisotzky², Petra Hertel³

¹ Hydrogeologie, Ruhr-Universität-Bochum

² Ruhr-Universität Bochum

³ Stadt Bochum

Kontakt: verena.luthe@rub.de

Im nordöstlichen Stadtgebiet von Bochum und den angrenzenden Bereichen der Städte Herne, Castrop-Rauxel und Dortmund sind ausgeprägte Hochflächen vorhanden. Hier ist unter einer nahezu geschlossenen Lößdecke eine Kies-schicht, der sogenannte Castroper Höhenschotter, als erstes Grundwasserstockwerk verbreitet. Durch industrielle Nutzung des Gebietes zwischen dem Oberlauf des Dorneburger Mühlenbachs und dem Ostbach sind in direkter Nähe mehrere im Altlastenkataster der Stadt Bochum verzeichneten Flächen, wie z.B. die ehem. Zeche und Kokerei Constantin X und die ehem. Zeche und Kokereien Lothringen IV und V zu finden.

Im Rahmen von standardisierten Quellwasseruntersuchungen wurden in den oberen Talabschnitten des Dorneburger Mühlenbachs 2009 und 2013 erhöhte Cyanid-Konzentrationen festgestellt. Das Gelände von Lothringen IV ist bereits saniert und durch Bentonitbahnen gesichert worden, das Grundwasser wird überwacht. Hier sind die in den Grundwassermessstellen (GWM) gemessenen, deutlich erhöhten Cyanid-Konzentrationen (die in den letzten 7 Jahren bis max. 310 µg/l) bereits deutlich zurückgegangen.

Auch im Ostbach und seinen südlichen Zuflüssen wurden 2009 erhebliche Chrom-VI-Konzentrationen festgestellt.

Als Verursacher der Chrom-VI-Belastung kam hier das etwa 700 bis 1000 m südlich gelegene Gelände der ehem. Zeche Lothringen V in Frage, auf dem in einer Holzimprägnieranlage über einen Zeitraum von etwa 70 Jahren (bis 1991) Teeröle und Chrom-Arsen-Salze zum Einsatz kamen. Auf dem Gelände der Imprägnieranlage und im näheren Abstrom sind erhebliche Chrom-VI-Belastungen des Grundwassers festgestellt worden. Von dort aus konnte das sehr gut wasserlösliche und damit hoch mobile Chrom-VI über den hier verbreitet vorkommenden Porengrundwasserleiter dem Castroper Höhenschotter zu den Quellen des im weiteren Abstrom gelegenen, oberen Ostbachtals gelangen.

Um einen weiteren Eintrag des Chrom-VI zu verhindern wurde die gesamte Fläche der ehem. Zeche Lothringen V im Jahre 2013 ebenfalls mit einer Tondichtungsbahn aus Bentonit gesichert und die Reduktion des Chrom-VI zu dem weniger mobilen Chrom-III angestrebt. Hierzu wurde im Juni 2015 die Testphase für die Sanierung des Abstroms durch die Injektion von Eisen(II)sulfat und Melasse induziert. In dem Bereich des direkten Quellzuflusses wurde eine Sanierungsanlage installiert, in der das belastete Quellwasser in einem Sammelschacht Natriumdithionit von Chrom-IV zu Chrom-III reduziert, abgefangen und gereinigt wieder in den Ostbach geleitet wird.

Die gesamte Schadstoffsituation hat den Grundwasserleiter stark geprägt. Um den Castroper Höhenschotter genauer zu charakterisieren wurde mithilfe von geochemischen und topografischen Programmen die gesamte Situation modelliert und dargestellt.

Entwicklung eines innovativen Verfahrens zur Sanierung eines arsenkontaminierten Grundwasserschadens durch aktive Mobilisierung

Sami Al Najem¹, Margot Isenbeck-Schröter, Martin Maier, Christian Scholz, Christian Knöchel², Jörn Müller², Dieter Riemann³

¹ Arbeitsgruppe Hydrogeochemie und Hydrogeologie, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

² CDM Smith Consult GmbH, Alsbach

³ HIM GmbH Bereich Altlastensanierung

Kontakt: Sami.AlNajem@geow.uni-heidelberg.de

Im Rahmen der Sicherung einer Altlast in Südhessen wurde das Transportverhalten des Schadstoffes Arsen im Grundwasserleiter untersucht und darauf aufbauend ein innovatives Sanierungsverfahren entwickelt. Dabei wird ein konventionelles Pump-&-Treat-Verfahren durch die gezielte Eingabe von Phosphat in den Grundwasserleiter mit einer aktiven Arsenmobilisierung gekoppelt.

Untersuchungen mit belastetem Standortmaterial zeigen, dass Arsen unter sauerstofffreien Bedingungen vergleichsweise mobil ist. Unter oxidierenden Bedingungen weist es eine hohe Affinität zur Sorption am Feststoff und folglich eine geringere Mobilität auf. Weiterhin zeigte sich, dass die Arsenkonzentration im Prozesswasser durch die Eingabe von Phosphat, infolge der kompetitiven Oberflächenkomplexierung zwischen dem am Feststoff gebundenen Arsen und dem gelösten Phosphat, signifikant erhöht wird. Diese gezielte Mobilisierung findet unter sauerstofffreien Bedingungen und bei pH-Werten < 6,8 statt um einerseits die Affinität zur Sorption von Arsen am Feststoff herabzusetzen und andererseits die Anlösung karbonatischer Oberflächen am Feststoff und eine Freisetzung daran sorbierten Arsens zu bewirken. Durch eine detaillierte Erkundung des Standorts wurde das Schadenszentrum eingegrenzt und die dort lagernde Schadstoffmenge im gesättigten Bereich auf etwa 7,2 t Arsen quantifiziert. Durch Elutionsversuche wurde gezeigt, dass davon etwa 4,7 t mobilisierbar sind. Aufgrund der geochemischen Milieubedingungen werden die Arsenbelastungen sukzessiv und langanhaltend in das Grundwasser ausgetragen. Aktuelle Belastungen liegen im Schadenszentrum bei etwa 250 bis 600 µg/L Arsen. In einem seit 2015 laufenden Pilotversuch wird das Verfahren im hochbelastetem Schadenszentrum kleinräumig getestet. In den Grundwasserleiter werden Natriumdihydrogenphosphat und seit Juli 2017 auch Phosphorsäure zur Absenkung der pH-Werte und Natriumsulfit zur Vermeidung eines Sauerstoff-Eintrags kontrolliert eingegeben. Durch diese Maßnahmen wurde aus dem nur wenige Meter abstromig gelegenen Entnahmebrunnen etwa 30 % (Stand: September 2017) des mobilisierbaren Arsens ausgetragen. Dies entspricht einer deutlichen Effizienzsteigerung gegenüber einer potenziellen Pump-&-Treat-Maßnahme ohne aktive Mobilisierung. Im Frühjahr 2018 soll die großtechnische Umsetzung der Sanierung beginnen. Durch mittlere Arsengehalte von 2 bis 2,5 mg/L in den Förderbrunnen sollen in weniger als 10 Jahren mehr als 80 % des mobilisierbaren Arsens ausgetragen und somit kostengünstig und effizient aus dem Grundwasserleiter entfernt werden. Im Anschluss an die Sanierung sollen die Maßnahmen zu vergleichsweise niedrigen Arsenkonzentrationen von < 100 µg/L im Grundwasser führen.

Wir danken der HIM ASG, dem RP Darmstadt und dem Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz für die finanzielle Förderung des Projektes. Stefan und Silvia Rheinberger sind für die ausgezeichnete Analytik verantwortlich.

Leaching of PAHs from Coal Mining Heap Samples from the Saarland

Saroj Rai¹, Juan Velasco¹, Stefanie Schmidt¹, Claudia Cosma¹, Zahra Neumann¹, Thomas Schiedek¹

¹ Hydrogeologie, TU Darmstadt

Kontakt: schiedek@geo.tu-darmstadt.de

After 250 years, coal mining stopped in the Saarland, Germany, in 2012, but a lot of mining heaps remained (ca. 80). The heaps, though unprofitable for extraction of coal, yet contain a significant amount of naturally occurring coal. The coals are known as a major source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). PAHs are organic compounds, relatively non-volatile and of low water solubility. They are considered as pollutants with high persistence, toxic impact on living organisms and carcinogenic potential (CEPA, 1994). Pies et al. (2007) found PAH in the floodplain of the Saar River and downstream of the River Mosel and concluded that the PAHs found downstream resulted from former coal mining industry carried out in the near vicinity.

The aim of this study was to quantify the amount of PAHs which could be potentially and under almost real conditions leached from heap sediments. Sediment samples (top 10 cm) from the Saarland heaps of Duhamel, Göttelborn, Lydia, Reden and Viktoria, as well as 2 coal samples, were used for extraction and batch experiments. Leaching experiments with an accelerated solvent extraction unit (Dionex300) were executed, using acetone (potential leaching) and water at different temperatures (40°C and 80°C, "real" leaching). Additionally, batch experiments were conducted to investigate leaching under near-equilibrium conditions (10 days). The 16 EPA-PAHs and four additional PAHs (1-methylnaphthalene, 2-methylnaphthalene, benzo[e]pyrene and perylene) were analysed by gas chromatography with mass detection. Additionally total organic carbon (TOC) and physico-chemical parameters (pH and TDS) were analysed.

The heap samples contained a potential concentration in the range of 0,01 - 36 mg/kg. The highest value of 36 mg/kg was found in the heap Lydia (most abandoned PAH was naphthalene). In general, light PAHs (mass lower 202 AMU) were found in concentrations up to 40 times higher than heavy PAHs. Coal samples showed 4-times higher PAH concentrations (most abandoned light PAHs) than sediment samples. However, the water extractions showed only light PAHs. The batch experiments (3 samples per heap, 1 coal) showed only light PAHs in the water phase (concentrations from 0,1 – 0,5 µg/L), with 2-methylnaphthalene (0,5 µg/L) in the coal sample. The highest concentration of total PAHs of a heap was found at Lydia, ca. 6 times higher than the lowest concentration found in the heap Viktoria.

Potential light PAH concentration in sediments (acetone extraction) were ca. 3 orders of magnitude higher than water extractions at 40°C and 80°C or in batch experiments. The extract at 80°C showed 20 times higher concentrations than at 40°C for the lighter PAHs. TOC content was found to be above 60% in coal samples (with 90% OC). Sediment samples showed TOC values in the range of 2% - 8%.

Light PAHs from heaps have been found to be mobile, but maybe immediately sorbed by natural TOC. However, dust emissions may pose a potential risk from heaps.

References

- Pies, C., Yang, Y. & Hofmann, T. (2007): Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Floodplain Soils of the Mosel and Saar River.- J Soils Sediments 7 (4) 216–222.
- CEPA Canadian Environmental Protection Act, Government of Canada (1994): Priority Substances List Assessment Report, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.

P 1.5

Messungen von PAKs in Oberflächenwässern mit Hilfe der GC-MS*Andrea Niedermayr¹, Ilka Hinzer¹, Frank Wisotzky¹*¹ *Angewandte Geologie - Hydrogeologie, Ruhr Universität Bochum**Kontakt: andrea.niedermayr@rub.de*

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen durch Verbrennung von organischen Material, sie sind daher in der Nähe von thermischen Industrieanlagen, wie Kokereien, Raffinerien und Stahlwerken auffindbar und können dort die Oberflächen- und Grundwässer verschmutzen.

Um das Verschmutzungspotential von Oberflächenwasser zu quantifizieren wurden Messungen mit Hilfe eines Quadrupol-Massenspektrometers, das an einen Gaschromatographen (mit der polaren GC-Säule mit einer Phenyl-Dimethylpolysiloxan-Beschichtung) gekoppelt ist, durchgeführt. Hierfür wurden Proben im Verlauf des Landwehrbaches entnommen und daraus unter Verwendung von Cyclohexan die PAKs extrahiert.

Der Landwehrbach befindet sich südlich der Zeche „Friedrich der Große“ in Herne und hat entsprechende Schadstoffe von der ehemaligen Kokerei aufgenommen, welche über die kontaminierte Bodenpassage und dem Grundwasser dem Bach zufließen. Es wurden folgende PAKs analysiert: Acenapthen, Acenaphthylen, Anthracen, Fluoranthen, Fluoren, Naphthalin, Phenanthren, Pyren.

Die Konzentration aller gemessenen PAKs nimmt bei der Passage des Zechengeländes stark zu und bleibt danach relativ konstant. Naphthalin steigt beispielsweise von 0,2 µg/l auf 44 µg/l an. Auch bei weiteren PAKs wie Phenanthren, Acenapthen und Fluoranthen, Phenanthren und Pyren erhöhen sich die Konzentrationen im Verlauf des ehemaligen Zechengeländes auf das 20- bis 30-fache im Vergleich zur Konzentration vor dem Zechengelände. Phenanthren, Acenapthen, Fluoren und Fluoranthen Konzentrationen von mehreren µg/l sind im Landwehrbach nach der Passage der ehemaligen Kokerei auffindbar. Im Vergleich dazu darf die Summe aller PAKs zusammen im Trinkwasser 0,1 µg/l (hier nur als Vergleichszahl) nicht überschreiten.

Die hohen Konzentrationen an PAKs im Landwehrbach deuten auf einen Zustrom von einem stark kontaminierten Grundwasser hin und zeugen von der Notwendigkeit von weiteren Sanierungsmaßnahmen um die Oberflächen- und Grundwässer zu entlasten.

P 1.6

Mobilisierung und Verfrachtung von Aluminium aus Tunnelausbruchsmaterial durch Veränderung des pH-Wertes im Grundwasser*Tatjana Enzinger¹, Sylke Hilberg¹, Dieter Bechtold²*¹ *Geologie, Uni Salzburg*² *Büro für Geologie und Hydrogeologie**Kontakt: Tatjana.Enzinger@stud.sbg.ac.at*

Im Zuge des Stollenvortriebs des Gemeinschaftskraftwerks Inn (GKI) im oberen Inntal bei Pfunds (Tirol) wurde ein ausgekoffter Bereich der Innterrasse mit Ausbruchsmaterial aus dem Fräsvortrieb verfüllt. Hierbei handelt es sich um mechanisch zerlegten und zerkleinerten Phyllit (Bunte und Graue Bündnerschiefer). Diese sind erzführend sowie graphit- und karbonatreich und unterscheiden sich sowohl in den hydraulischen Eigenschaften, als auch in der geochemischen Zusammensetzung deutlich vom umgebenden Innschotter. Bei einer Stichprobe wurde festgestellt, dass im Ausbruchsmaterial Aluminium enthalten ist, welches mit 7,2 mg/kg Trockenmasse (TM) den Grenzwert für die angestrebte Qualitätsklasse A2G (Bundesabfallwirtschaftsplan 2011) überschreitet. Darüber hinaus zeigten sich im Eluat hohe pH-Werte von ca. 8,8.

Bei hohen pH-Werten (> 8) im Grundwasser, kann Aluminium aus geogenem Material gelöst und mit dem Grundwasserstrom verfrachtet werden. Im Zuge der Beweissicherung wurden daher oberstrom, unterstrom sowie in der

Anschüttung selbst Grundwassermessstellen (GWM) errichtet und jeweils mit einer automatischen Datenaufzeichnung (pH-Wert, Temperatur, Wasserstand) instrumentiert.

Auf der Basis dieser Daten wurde zunächst ein kalibriertes, stationäres Grundwasserströmungsmodell (Software: Processing Modflow) zum Zeitpunkt eines niedrigen, mittleren und hohen Grundwasserstandes erstellt und in das Programm PHAST implementiert. Durch die Kopplung mit dem Programm PHREEQC, welche im Programm enthalten ist, kann die Verteilung von Aluminiumionen bei unterschiedlichen pH-Wertentwicklungen im Grundwasser abgeleitet und prognostiziert werden. Die Güte des Modells wird durch den Vergleich mit den realen Grundwasserdaten abgeschätzt.

Anhand des Modells können Vorschläge zur Vermeidung / -minderung eines Austrages gegeben werden bzw. aufgezeigt werden, ob bei derzeit gegebenen Bedingungen überhaupt ein Austrag relevanter Frachten kritisch zu betrachtender Ionen zu erwarten ist.

P 1.7

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden und Bergehaldematerial des montanindustriell geprägten Saarlandes

Simon Thiel¹, Christina Daiker¹, Thomas Schiedek¹

¹ Hydrogeologie, TU Darmstadt

Kontakt: schiedek@geo.tu-darmstadt.de

Verbrennungsprozesse gelten als bedeutsamste Emissionsquelle für die Bildung und Freisetzung der PAK in die Umwelt. Die emittierten Schadstoffe können in der Atmosphäre über weite Strecken transportiert werden und führen dadurch zu einer ubiquitären Verteilung. Aufgrund ihrer lipophilen Eigenschaften sorbieren die PAK bevorzugt an organisches Material, wobei Böden und Gewässersedimente eine der wichtigsten Schadstoffsenken bilden (Lima et al. 2005, Marschner 1999, Jones & de Voogt 1999, Menzie et al. 1992).

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Saarkohle auf den Gehalt an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und das PAK-Verteilungsmuster in Böden untersucht. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf atmosphärisch eingetragenen PAK, die überwiegend aus Verbrennungsprozessen resultieren. Neben einer abschnittsweisen vertikalen Entnahme von Bodenproben wurde für die Untersuchungen zusätzlich ein Depositionssammler eingesetzt, der Rückschlüsse auf rezente PAK-Einträge liefern sollte. Darüber hinaus wurden auch aus Bergehalden, die dem ehemaligen Steinkohlenbergbau des Saarlandes entstammen, Proben entnommen.

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen zeigen für das Saarland stark schwankende PAK₁₆-Gesamtgehalte von ca. 200 bis 25.000 µg/kg, wobei in der Regel eine für atmosphärische Einträge typische Abnahme der Schadstoffgehalte mit der Tiefe festgestellt werden konnte. Aus der Untersuchung der Bodenproben ist ersichtlich, dass besonders industrienähe Standorte die höchsten PAK₁₆ Gehalte aufweisen, während industriefernere Standorte geringer belastet sind. Insgesamt ist trotz der inhomogenen Verteilung der Gesamtgehalte ein gebietsspezifisches PAK-Muster erkennbar, das sich auch bei den Vergleichsproben des saarländischen Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz zeigt.

Aus den Messergebnissen des Depositionssammlers geht hervor, dass die Verbrennung der Saarkohle heutzutage keinen bedeutsamen Beitrag zu atmosphärischen PAK liefert. Dies spiegelt sich auch in einem Großteil der untersuchten Böden wider, die weitestgehend das Muster der rezenten atmosphärischen Deposition aufweisen. Lediglich an einigen der untersuchten Standorte sind verstärkt Einflüsse durch die Verbrennung der Saarkohle nachweisbar, was auch durch einen gebietsübergreifenden Vergleich der PAK-Muster verdeutlicht werden konnte. Die untersuchten Bergehalden weisen mit PAK₁₆-Gehalten zwischen rund 11.000 und 26.000 µg/kg hohe Belastungen auf. Das PAK-Muster des Haldenmaterials entspricht dabei weitestgehend dem petrogenen PAK-Muster der Saarkohle.

Literatur

Lima, A.L.C., Farrington, J.W. & Reddy, C.M. (2005): Combustion-Derived Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment - A Review.- Environmental Forensics, 6, 109-131.

Jones, K. C. & De Voogt, P. (1999): Persistent organic pollutants (POPs): state of the science.- Environmental Pollution, 100: 209 - 221.

Marschner, B. (1999): Sorption von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und polychlorierten Biphenylen (PCB) im Boden.- Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 162, 1 - 14.

Menzie, C. A., Potocki, B. B. & Santodonato, J. (1992): Exposure to carcinogenic PAHs in the environment.- Environmental Science and Technology, Volume 26, No. 7.

P 1.8

Untersuchung von Stollenwässern des Altbergbaus im Unterharz und des südöstlichen Harzvorlandes

Felix Vetterlein¹, Christoph Gauert², Wolfgang Gossel¹

¹ Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

² Landesamt für Geologie und Bergbau, Sachsen-Anhalt

Kontakt: felix.vetterlein@student.uni-halle.de

Durch Kupferschieferbergbau in den ehemaligen Bergbaugebieten der Reviere Mansfeld und Sangerhausen sowie Erzbergbau im Bereich des Unterharzes werden bis in die Gegenwart Schwermetalle durch Wässer aus Entwässerungsstollen ausgetragen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Wässer aus 30 Stollen durch repräsentative Wasserprobenahme, Erfassung der Vor-Ort-Parameter sowie anschließender Aufbereitung im Labor und quantitativer Analyse mittels IC und ICP/MS dokumentiert. Dabei sind Fe und vorrangig Zn die Hauptinhaltsstoffe der Stollenwässer im Mansfelder Revier und Sangerhäuser Revier. Daneben treten Mn, Cu und Pb auf, was von anderen Autoren gestützt wird (Spilker et al., 1999; Molitor & Bräutigam, 2014). Dagegen bilden im Unterharzer Gangrevier Mn und Fe die Hauptinhaltsstoffe. Mittels Softwareprogrammen wird zum einen ein lokaler Zusammenhang zwischen Hydrochemie und Geologie hergeleitet, zum anderen mittels PhreeQC die Speziation der Schwermetallkationen modelliert. Beide Methoden dienen der Bestimmung der Herkunft letzterer. Darüber hinaus werden Änderungen der Ionenkonzentration untersucht. So hat im Vergleich zu Dobler, 1999 die Konzentration der Metallionen in den Stollenwässern im Unterharz abgenommen, während sie in den vormaligen Bergbaugebieten im südöstlichen Harzvorland weitestgehend konstant geblieben ist.

Literatur

Dobler, L. (1999): Der Einfluß der Bergbaugeschichte im Ostharz auf die Schwermetalltiefengradienten in historischen Sedimenten und die fluviale Schwermetalldispersion in den Einzugsgebieten von Bode und Selke im Harz. 120 S.; unv. Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale)

Spilker, M., Strobel, G., Würzburg, G. & Würzburg, H. (1999): Erfahrungen und Probleme bei der Flutung von Grubenhohlräumen des Kupferschieferbergbaus. 205 S.; GGW, Berlin

Molitor, N. & Bräutigam, B. (2014): 4011 GVV: Frachtreduzierung Schlüsselstollen - Bericht zum Arbeitspaket A: Ermittlung der Auswirkungen des Schlüsselstollens auf den partikelgebundenen Schadstofftransport in der Saale/Elbe. 71 S.; Landesanstalt für Altlastenfreistellung, Magdeburg

Molitor, N. & Bräutigam, B. (2014): 4011 GVV: Frachtreduzierung Schlüsselstollen Bericht zum Arbeitspaket B: Bewertung von technisch realisierbaren und verhältnismäßigen Maßnahmen. 28 S.; Landesanstalt für Altlastenfreistellung, Magdeburg

2 Grubenwasser

Vorträge

O 2.1: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 11:30-11:45

Die Grubenwasserhaltung nach dem aktiven Steinkohlenbergbau – wir übernehmen Verantwortung

Markus Roth¹

¹ RAG Aktiengesellschaft

Kontakt: Markus.Roth@rag.de

Wenn Ende 2018 die Steinkohlenförderung eingestellt wird, endet ein bedeutendes Kapitel deutscher Industriegeschichte. Die Arbeit der RAG Aktiengesellschaft, unter deren Dach die verbliebenen deutschen Bergwerke gebündelt wurden, geht jedoch weiter. So zählt die Grubenwasserhaltung in den ehemaligen Bergbaugebieten zu den wichtigsten Zukunftsaufgaben des Unternehmens. Dafür entwickelten RAG-Experten in enger Abstimmung mit Politik und Behörden individuelle Konzepte für die Regionen an Ruhr, Saar und in Ibbenbüren. Das oberste Gebot dabei: der Trinkwasserschutz.

Gleichzeitig ebnet der RAG-Ansatz den Weg zu einem weiteren Ziel der Nachbergbau-Ära: dem ökologischen Umbau zahlreicher Flüsse, Bäche und Teiche in naturnahe Gewässer. Da Grubenwasser die Gewässerqualität insbesondere kleinerer Flüsse und Bäche beeinflusst, soll es künftig nur noch an wenigen zentralen Wasserhaltungsstandorten in die großen Flüsse eingeleitet werden. Hierzu setzt die RAG auf einen kontrollierten Anstieg des Grubenwassers, um untertägige Verbindungen zur Weiterleitung zu nutzen. Während im Ruhrgebiet ein Sicherheitsabstand zu den Grundwasserleitern dauerhaft die Vermischung mit dem Trinkwasser verhindert, bietet die geologische Situation in Ibbenbüren und an der Saar sogar die Chance, das Grubenwasser bis zum freien Auslauf ansteigen zu lassen.

Neben der Reduzierung von Pumpstandorten und -höhen senkt der parallel betriebene Umbau der verbleibenden Wasserhaltungen zu Brunnenbetrieben mit modernen Tauchpumpen den Energieverbrauch und trägt entscheidend dazu bei, die Ewigkeitsaufgabe Grubenwasserhaltung effizient, verantwortungsvoll und nachhaltig zu gestalten.

O 2.2: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 11:45-12:00

Hydrogeologische Fragestellungen in bergrechtlichen Genehmigungsverfahren

Georg Wieber¹

¹ Direktor, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

Kontakt: wieber@uni-mainz.de

In Deutschland erfolgen die Genehmigungsverfahren nach Bergrecht (BBergG) durch die Bergbehörden der Bundesländer. Grundsätzlich wird zwischen bergfreien und grundeigenen Bodenschätzen unterschieden. In bergrechtlichen Genehmigungsverfahren sind vielfältige wasserrechtliche Tatbestände wie Grundwasserabsenkung, Einleitungen in Oberflächen- oder Grundwasser betroffen. Hierbei stellen die Bergbehörden als Sonderwasserbehörde das Einvernehmen mit den Wasserbehörden her. Bergbauberechtigungen können als Erlaubnis (§16 Abs. 4 BBergG), Bewilligung (§16 Abs. 5 BBergG) oder Bergwerkseigentum (§ 16 Abs. 5 BBergG) beantragt werden. Die Aufsuchung und Gewinnung von bergfreien Bodenschätzen unterliegt dem Staatsvorbehalt, das heißt das jeweilige Bundesland erteilt hierfür Konzessionen und erhebt Feldes- und Förderabgaben. Daneben gibt es noch den Sonderfall der „Bergbauberechtigungen nach altem Recht“, die weder eine Befristung noch die Rechtsgrundlage für Förder- und Feldesabgaben aufweisen, soweit sie rechtzeitig nach Inkrafttreten des BBergG angemeldet und durch die Bergbehörde bestätigt wurden. In der Praxis betreffen diese Altrechte insbesondere den Stein- und Braunkohle-, aber auch den Erzbergbau.

Die Zulassungen von Anträgen zur Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung von Bodenschätzen erfolgen nach dem Betriebsplanverfahren. Betriebspläne sind zu befristen. Wie bei anderen Genehmigungen ist bei Bergbauvorhaben unter den gegebenen Voraussetzungen der Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau) eine UVP oder Vorprüfung des Einzelfalls durchzuführen. Bei diesen Planfeststellungsverfahren ist die Öffentlichkeit (Offenlegung der Planunterlagen, Erörterungstermin) zwingend zu beteiligen. Die Beendigung der Bergaufsicht erfolgt im Rahmen eines Abschlussbetriebsplanverfahrens. Dabei ist sicherzustellen, dass nach Abschluss des Verfahrens das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird.

Literatur

UVPG - Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. September 2017 (BGBl. I S. 3370) geändert worden ist.

BBergG - Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), das durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.

WHG - Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist.

UVP-V Bergbau - Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben vom 13. Juli 1990 (BGBl. I S. 1420), die durch Artikel 2 Absatz 24 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.

O 2.3: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 12:00-12:15

Flutung der Steinkohlebergwerke im Saarland – das Verfahren aus Sicht der Wasserbehörde

Thomas Walter¹

¹ Abteilung E, Technischer Umweltschutz, Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
Kontakt: t.walter@umwelt.saarland.de

Nach dem Bergschlag vom 23.2.2008 wurde beschlossen, den Steinkohlenbergbau im Saarland nach über 250 Jahren vorzeitig auslaufen zu lassen. Die Förderung von Steinkohle wurde am 30.6.2012 beendet. Am 14.2.2014 reichte die RAG als Betreiber eine planerische Mitteilung ein, in der sie skizzierte, dass sie sich einen zweiphasigen Rückzug aus dem untertägigen Bereich vorstellt, der schlussendlich einen freien Auslauf in die Saar anstrebt (RAG, 2014). Nach einer Phase der Vorabstimmung mit den saarländischen Behörden wurden am 31.8.2017 zwei getrennte Anträge für die erste Phase des Grubenwasseranstiegs im Saarrevier bis auf ein Niveau von – 320 m NN vorgelegt, und zwar für ein bergrechtliches Planfeststellungsverfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung und für den Abschlussbetriebsplan in einem normalen bergrechtlichen Verfahren (RAG, 2017).

Der Wasseranstieg der ersten Phase betrifft nur die Wasserprovinzen Reden und Duhamel, da die Grubengasförderung in der Provinz Luisenthal vorläufig noch weiter fortgeführt werden soll. Aus der Übertrittshöhe in die benachbarte Wasserprovinz Luisenthal bei -311 m NN ergibt sich auch das geplante Flutungsziel bei -320 m NN. Nach Abschluss der ersten Phase soll der Pumpenbetrieb wieder aufgenommen werden, wobei das Grubenwasser dann in die Saar eingeleitet werden kann.

§ 19 Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) überträgt in bergrechtlichen Verfahren, die mit möglichen wasserrechtlichen Benutzungstatbeständen verbunden sind, der zuständigen Bergbehörden die Funktion der Wasserbehörde, allerdings nur im Einvernehmen mit der Wasserbehörde. Damit liegt trotz Verfahrens- und Zuständigkeitskonzentration die Entscheidungskompetenz weiterhin bei der Wasserbehörde (Kühne & Von Mäßenhausen, 2015), die damit ein eigenständiges Prüfverfahren durchzuführen hat. Dies gilt auch die Prüfung der vorliegenden Wasserbenutzungstatbestände und die Festlegung der eventuell erforderlichen Auflagen für die Genehmigung im Rahmen der Anstiegsüberwachung, der Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten während des Anstiegsprozesses und die möglicherweise erforderliche Aufbereitung des Grubenwassers vor der Einleitung in die Saar nach Abschlusses des Anstiegsprozesses.

Das Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz hat auf der Grundlage des bestehenden Grundwassermodells Saarland (Wagner & Walter, 2008) im Vorfeld die unabhängige Erstellung eines verbesserten Grundwassermodells beauftragt, das auch den Bereich des untertägigen Bergbaus umfassen und die die Behörde in die Lage versetzen soll, eine eigenständige Prüfung vorzunehmen. Das Oberbergamt hat seinerseits eine auf diesem Modell aufbauende

unabhängige Stellungnahme der seitens der RAG eingereichten Unterlagen beauftragt, deren Ergebnisse inzwischen vorliegen und dem Antrag der RAG beigelegt wurden (RAG, 2017). Die Ergebnisse der Modellierung sowie der darauf aufbauenden Begutachtung der vorgelegten Unterlagen werden mit ihren Auswirkungen auf die wasserrechtlich erforderlichen Genehmigungen vorgestellt.

Literatur

- GGF Grundwasser- und Geo-Forschung GmbH (2017): Fachgutachtliche Hydrogeologische Beurteilung Der Flutung Bergbaubedingter Untertägiger Abbauhohlräume Nach Einstellen Des Kohleabbaus Im Saarkarbon, <https://www.saarland.de/227277.htm>
- Kühne, G. & von Mäßenhausen, K. (2015): Bbergg Bundesberggesetz: Kommentar, 2. Auflage, De Gruyter
- RAG (2014): Planerische Mitteilung Zum Ansteigenlassen Des Grubenwasserspiegels Auf -320 M NN In Den Wasserprovinzen Reden Und Duhamel; http://www.bergbau-unser-erbe.de/fileadmin/user_upload/downloads/Planerische_Mitteilung.Pdf
- RAG (2017): Antrag Zum Heben Und Einleiten Von Grubenwasser Am Standort Duhamel In Die Saar Als Folge Des Ansteigenlassens Des Grubenwasserspiegels Auf -320 M NN In Den Wasserprovinzen Reden Und Duhamel Vom 31.08.2017
- Wagner, J. & Walter, T. (2008): Grundwassermodell Saarland – Strömungssimulation Für Ein Ganzes Bundesland: Aufgabenstellung, Zielsetzung, Besonderheiten, Stand Der Arbeiten; 8. Dortmunder Fachtagung Grundwassermodellierung, Dortmund, 17.- 18. 11.2008

O 2.4: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 12:15-12:30

Erfahrungen bei Vorbereitung und Durchführung von Bergwerksflutungen am Beispiel der Uranerzgrube Ronneburg

Michael Paul¹, Delf Baacke¹

¹ Wismut GmbH

Kontakt: m.paul@wismut.de

Die Stilllegung und Verwahrung von fünf ehemaligen Tiefbaugruben stellt eine der zentralen Aufgaben im Zuge der Sanierung der Hinterlassenschaften des sächsisch-thüringischen Uranbergbaus dar. Dabei bildet die möglichst vollständige, gesteuerte Flutung der Grubengebäude den regulären Abschluss der untertägigen Verwahrarbeiten. Da das flutungsbedingte Wiederaufgehen des über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten großräumig abgesenkten Grundwasserspiegels mit einer Reihe von potentiell nachteiligen Umweltauswirkungen verbunden ist, steht deren Vermeidung bzw. Minderung im Mittelpunkt der entsprechenden Genehmigungsverfahren bzw. der flutungsbegleitenden Überwachungs- und Maßnahmenprogramme.

Im ehemaligen Ronneburger Erzfeld wurde die Flutung des ca. 20 Mio. m³ bergmännischen Hohlraum umfassenden Grubengebäudes 1998 nach mehrjährigem Genehmigungsverfahren eingeleitet. Die Maßnahme war eingebettet in eine komplexe Standortsanierungsstrategie mit Haldenrückbau, Tagebauverfüllung und Flächensanierung. Aufgrund der gegebenen Komplexität wurde der Einstau in einem mehrstufigen Verfahren mit entsprechenden berg-, wasser- und strahlenschutzrechtlichen Teilzulassungen vollzogen. Von 2000 bis 2004 erfolgte die Errichtung der grundlegenden Infrastruktur zur Fassung und Behandlung der mit Radionukliden, Metallen und Sulfat belasteten und damit behandlungsbedürftigen Grubenwässer. Zwischen 2006 und 2011 wurden das Grundsystem zur Wasserfassung sowie alle technischen Einrichtungen zur Wasserableitung, -zuführung und -behandlung einem langjährigen Praxistest unterzogen. Im Ergebnis machten sich diverse technische Nachrüstungen und flutungsstrategische Anpassungen notwendig.

Der Beitrag stellt den 25jährigen Erkenntnisprozess der Vorbereitung und Durchführung einer komplexen Grubenflutung in den Mittelpunkt. Die Vorhersagegenauigkeit von Modellprognosen wird vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Flutungsüberwachung ebenso diskutiert wie Fragen von Risikomanagement und öffentlicher Rezeption des Flutungsprozesses. Hinsichtlich der technischen Einrichtungen wird der Schwerpunkt auf Auslegung und konstruktive Besonderheiten gelegt. Mit Blick auf das strategische Vorgehen werden zudem die Perspektiven für das langfristige Grubenwassermanagement am Standort Ronneburg beleuchtet.

Energetische Nutzung von Grubenwasser aus einem tiefen Schacht des Aachener Steinkohlenreviers – Konzeption, technische Realisierung, erste Betriebserfahrungen

Michael Heitfeld¹, Peter Rosner¹, Thomas Mathews², Harald Richter³, Heiner Berlipp³

¹ Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH

² Sachverständigenbüro Dr. Mathews

³ Energeticon gGmbH

Kontakt: info@ihs-online.de

Die Energeticon gGmbH betreibt auf dem ehemaligen Gelände der Steinkohlengrube Anna in Alsdorf ein Energie-Museum. Zur Beheizung der Gebäude beabsichtigt die Energeticon gGmbH die Nutzung von Erdwärme aus dem Eduard-Schacht mittels einer tiefen Erdwärmesonde (Projekt „GrEEN“ - Grubenwasserenergie für das Energeticon). Der rd. 860 m tiefe Eduard-Schacht liegt auf dem Betriebsgelände des „Energeticon“. Der Schacht gehört der EBV GmbH und wurde 1992 im Rahmen der Stilllegung des Aachener Reviers bis in das Niveau der obersten Sohle (153 m unter Geländeniveau) mit Beton gesichert; darunter steht der Schacht offen und ist mit Grubenwasser (Wassertemperatur 20 bis 24 °C) erfüllt.

Eine erste Machbarkeitsstudie zur Nutzung der Erdwärme aus dem Eduard-Schacht wurde bereits 2004 bearbeitet. Seither wurden verschiedene Projektvorschläge zur geothermischen Nutzung des Grubenwassers im Aachener Revier ausgearbeitet. Das nunmehr realisierte Projekt „GrEEN“ wird aufgrund seines Pilotcharakters seit 2016 mit Fördermitteln des Landes Nordrhein-Westfalen und der Innogy SE gefördert.

Die planerischen Vorarbeiten für die Realisierung des Projektes „GrEEN“ sowie erste Aufwältigungsarbeiten am Schacht wurden in 2016 durchgeführt. Alle Arbeiten am Schacht sind aufgrund der noch vorhandenen Grubengasführung unter hohem Sicherheitsaufwand durchzuführen. Aufgrund der angetroffenen Verhältnisse im Schacht musste die Konzeption für den Einbau der Sonde angepasst werden. Der Einbau der Sonde erfolgt nunmehr über eine neu abzuteufende Bohrung innerhalb der Beton-Füllsäule; diese Arbeiten sollen im November 2017 durchgeführt werden; anschließend sind erste Tests zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Sonde geplant. Bei planmäßigem Verlauf soll sich dann ab März 2018 ein mehrmonatiger Probebetrieb anschließen.

Der Vortrag zeigt die Schwierigkeiten bei der Projektentwicklung und verschiedene Nutzungsvarianten auf. Die Konzeption der Erdwärmennutzung aus einem tiefen grubenwasser-gefüllten Schacht und die Problembehandlung bei der Aufwältigung des Schachtes werden erläutert. Neben den technischen Aspekten bei der Auswahl und der Bemessung einer geeigneten Erdwärmesonde sowie der Wärmepumpentechnik werden auch die genehmigungsrechtlichen Gesichtspunkte bei den erforderlichen Betriebsplanzulassungen und die erforderlichen Regelungen mit dem Bergwerkseigentümer (EBV GmbH) dargestellt.

Das Projekt „GrEEN“ wird aufgrund seines Pilotcharakters wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige geothermische von Grubenwasser u.a. im Ruhrgebiet liefern.

Großflächige hydrochemische Grundwasserbeeinflussung in der Lausitz als Folge des Braunkohlenbergbaus: Saure Tagebauseen und Verockerung von Fließgewässern durch diffuse Stoffeinträge

Wilfried Uhlmann¹, Eckhard Scholz², Sven Radigk²

¹ Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann

² LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Kontakt: wilfried.uhlmann@iwb-dresden.de

Die tertiären Braunkohlenlagerstätten in der Lausitz wurden und werden in Tagebauen im Förderbrückenbetrieb ausgebeutet. Damit sind gigantische Massenumwälzungen des geologischen Deckgebirges und ein großer Flächenverbrauch verbunden. Die Sanierung des Braunkohlenbergbaus in der Lausitz war bis vor kurzem mit vier fundamentalen Irrtümern verbunden:

(1) Noch vor einem Jahrzehnt galten nur die Innenkippen und die Außenhalden der Braunkohlentagebaue als potentielle Belastungsquellen für die Bergbaufolgeseen in den Konturen der ehemaligen Tagebaue und für das Grundwasser in den umgebenden Grundwasserleitern. (2) Eine relevantes mobiles Stoffpotential infolge der Pyritverwitterung wurde nur den tertiären Mischsedimenten zuerkannt. (3) Bis vor kurzem galt die 2-Meter-Linie der Grundwasserabsenkung um die Braunkohlentagebaue als Grenze des Beeinflussungsbereiches, zumindest aus geotechnischer Sicht. (4) Eine relevante Grundwasserbeeinflussung durch den Braunkohlenbergbau auf die tangierenden Grundwasserleiter und die natürlichen Oberflächengewässer wurde für den Zeitpunkt nach dem Grundwasserwiederanstieg zzgl. einer komfortablen Vorwarnzeit infolge des langsamen Stofftransports erwartet.

Durch die jüngeren Erfahrungen des Sanierungsbergbaus der LMBV mussten diese Sichtweisen in der Lausitz gründlich revidiert werden.

1. Durch die jahrzehntelange Belüftung der Grundwasserleiter in den großflächigen Absenkungstrichtern des Lausitzer Braunkohlenbergbaus verwitterte Pyrit auch in den pleistozänen Grundwasserleitern in den tiefen Rinnen zwischen den tertiären Kohlenfeldern.

2. Der Pyritgehalt pleistozäner Rinnensedimente ist niedriger als in tertiären Kohlenbegleitsedimenten. Die hohe Durchlässigkeit pleistozäner Rinnensedimente begünstigt jedoch den Lufteintritt bis in große Tiefen und damit eine anteilig hochgradige Pyritverwitterung. Dadurch entstand auch hier ein saures Grundwasser mit stellenweise vergleichbar hohen Sulfat- und Eisenkonzentrationen wie in den Braunkohlenabraumkippen.

3. Die hydrochemischen Wirkungen des Braunkohlenbergbaus reichen zudem weit über die Grenzen eines Tagebaus hinaus. Das Phänomen der Fließgewässerverockerung trat insbesondere in den entfernten Außenbereichen der Absenkungstrichter auf. Davon sind im Lausitzer Braunkohlenrevier derzeit vor allem die Spree südlich von Spremberg sowie die südlichen Zuflüsse zum Biosphärenreservat Spreewald betroffen. Deshalb gilt heute die 0,25-Meter-Absenkungslinie als Grenze des (hydrochemischen) Beeinflussungsbereiches.

4. Mit dem Grundwasserwiederanstieg erlangt das Grundwasser hydraulischen Anschluss an die Oberflächengewässer. Buchstäblich der letzte Meter des Grundwasserwiederanstiegs führt zum diffusen Stoffaustrag aus dem Grundwasser der von der Pyritverwitterung betroffenen pleistozänen Grundwasserleiter in die Fließgewässer. Dieser Prozess wurde deshalb als spontan wahrgenommen. Von den diffusen Eiseneinträgen sind in der Lausitz derzeit etwa 100 Kilometer Fließgewässer 1. und 2. Ordnung betroffen.

O 2.7: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 14:15-14:30

Mögliche Umweltauswirkungen von Abfall- und Reststoffen in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen

Michael Denneborg¹

¹ ahu AG

Kontakt: m.denneborg@ahu.de

Mitte der 1980er Jahre bis 2006 wurden ca. 1,6 Mio. t „bergbaufremde Abfälle“ in 11 Bergwerken (BW) des Ruhr- und des Aachener Reviers in einer Suspension aus Filterstäuben aus der Hausmüll- und der Kohlenverbrennung, Rückständen aus der Rauchgasaufbereitung und Wasser eingebracht. Diese Suspension wurde über Rohrleitungen unter Tage verbracht und unmittelbar nach dem Kohlenabbau in dem Bruchhaufwerk des Alten Mannes verpresst (Bruchhohlraumverfüllung, BHV), wo die Suspension aushärtete.

Im Auftrag des MKULNV/MWEIHMH war das Umweltrisiko der BHV zu bewerten. Dies erfolgte bisher für das BW Haus Aden/Monopol durch ein Konsortium mit Zuständigkeiten für verschiedene Teilaufgaben.

Das Umweltrisiko ergibt sich in der Betrachtung aus Gefährdungspotential (Welche Stoffe?), dem Freisetzungspotential (Rückhalt durch verschiedene Barrieren?) und dem Ausbreitungspotential in die Umwelt.

Das Gefährdungspotential (v. a. Schwermetalle) wurde auf Grundlage einer Recherche bewertet. Das Freisetzungspotential wurde mittels hydrogeochemischer Modellierungen (PHREEQC, PHAST) abgeschätzt. In instationären GW-strömungsmodellierungen (SPRING) wurden die Fließverhältnisse in der BHV und dem umgebenden Gebirge simuliert und mit dem Freisetzungspotential zu einem Ausbreitungspotential verknüpft und als Konzentrationsentwicklung in den offenen Strecken und in der Zentralen Wasserhaltung Haus Aden (ZWH) dargestellt. Die ZWH soll nach der Planung das Grubenwasser bei ca. – 600 m NHN halten.

Das Gefährdungspotential ist in 1.321 t Zink, 403 t Blei und 19 t Cadmium begründet. Eine Freisetzung der Schwermetalle aus der verfestigten BHV kann erst erfolgen, wenn sich die – aufgrund der Zementationsvorgänge gebildeten – hohen pH-Werte wieder auf das Niveau des Tiefengrundwassers abgesenkt haben (hydrochemische Barriere). Je mehr der eingebrachten Reststoffe im Kontakt mit dem Tiefengrundwasser reagieren, desto länger ist diese Barriere stabil und desto größer ist die letztlich freisetzbare Menge der eingebrachten Schwermetalle. Bereits bei 10 % der Reststoffe im Reaktionskontakt ist die Barriere ca. 11.500 Jahre stabil.

Auf der Fließstrecke von der BHV durch das unverritzte Gebirge zu den offenen Strecken hin (durchschnittlich ca. 100 m) werden die gelösten Schwermetalle v. a. an Tonmineralien adsorbiert. Dadurch verringert sich die Ausgangskonzentration um ca. 95 % bis 99 %.

Aber auch ohne Berücksichtigung der Sorption wäre die maximale Konzentrationszunahme in der ZWH gering und bedeutet kein Risiko für Oberflächengewässer und Grundwasser.

Zur Frage, ob ein Grubenwasseranstieg die PCB-Fracht im Grubenwasser erhöht wurden Faktoren identifiziert, die eine Abnahme der PCB-Fracht bei höheren Grubenwasserständen nahelegen.

Literatur

ahu AG (2017): Gutachten zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruch-Hohlraumverfüllung in Steinkohlenbergwerken in Nordrhein-Westfalen, Teil I
www.umweltauswirkungen-utv.de

O 2.8: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 14:30-14:45

Ausbreitungspotenzial anorganischer Schadstoffe aus Bruchhohlraumversatzbereichen im gefluteten Untertagebergbau

Jens Tielker¹, Otto Rüber¹

¹ delta h Ing. GmbH, Parkweg 67, 58453 Witten
Kontakt: or@delta-h.de

Im Rahmen der Untersuchungen zur Prüfung möglicher Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfall- und Reststoffen zur Bruch-Hohlraum-Verfüllung (BHV) in Steinkohlebergwerken in Nordrhein-Westfalen wurde ein dreidimensionales Grundwassermodell erstellt. Der Untersuchungsraum liegt in der Wasserprovinz Haus Aden und die entsprechenden Baufelder sind Teil der Zeche Monopol. Neben den Daten der RAG AG, die das Grubengebäude beschreiben, standen Daten des Geologischen Dienstes (GD NRW) aus der Kohlevorratsberechnung zur Verfügung, welche die Geologie der Umgebung beschreiben. Aus diesen Eingangsdaten wurde das hydrogeologische Strukturmodell entwickelt. Die Gesamtstruktur bildet eine langgestreckte variszisch streichende Mulde. Der Kohleabbau erfolgte ausschließlich im flach lagernden Kern der Muldenstruktur. Das Karbon wird diskordant von Sedimenten der Kreide überlagert. Der so konstruierte Flächenverband, einschließlich der regional bedeutenden Störungen (Rünther Störung und Fliericher Sprung), bildet das hydrogeologische Strukturmodell, das dem Grundwassermodell zugrunde liegt.

Zur Kalibrierung der Durchlässigkeiten des Quartärs und der Leakagekoeffizienten der Oberflächengewässer standen Daten von 634 Grundwassermessstellen und die Wasserstände der Lippe und ihrer Nebengewässer bereit.

In den tieferen Modellschichten der Kreide und des Karbons erfolgte die Kalibrierung über eine Bilanzierung der Wasserströme. Die in das Modellgebiet einströmenden Mengen müssen mit den aus diesem Gebiet geförderten Mengen im Gleichgewicht stehen. Dadurch konnten die Durchlässigkeiten und die Leakagekoeffizienten des Röhrensystems, bestehend aus offenen Strecken und Schächten, bestimmt werden.

Mit dem kalibrierten Modell wurde das Strömungsfeld nach Flutung des Grubengebäudes bis zu einer Höhe von -670 m NN berechnet. Eine darauf aufbauende hydrogeochemische Modellierung, die von Prof. van Berk (TU Clausthal) durchgeführt wurde, nutzt als Eingangsparameter die charakteristische Fließlänge durch die BHV-Bereiche, um die Freisetzung der Stoffe zu bestimmen. Die Bestimmung der Fließlänge erfolgt durch die Auswertung unterschiedlicher Bahnlinien. Bahnlinien, die den Fließweg des Wassers beschreiben.

Die Dauer eines Porenwasseraustausches ist abhängig vom Strömungsfeld in den BHV-Bereichen. Diese wurden räumlich in Teilbereiche untergliedert, um eine möglichst genau Bilanzierung im Strömungsfeld zu ermöglichen. Ein Porenwasseraustausch hat stattgefunden, wenn das gesamte Porenvolumen eines BHV-Teilbereichs ausgetauscht wurde.

Mit den ermittelten zeitabhängigen Freisetzungsverläufen der Teilbereiche konnte die instationäre Transportberechnung im stationären Strömungsfeld erfolgen. Der Stofftransport wurde für 10.000 Jahre berechnet. Dabei wurden die Frachten bilanziert, die dem offenen Streckensystem und damit der zentralen Wasserhaltung zufließen.

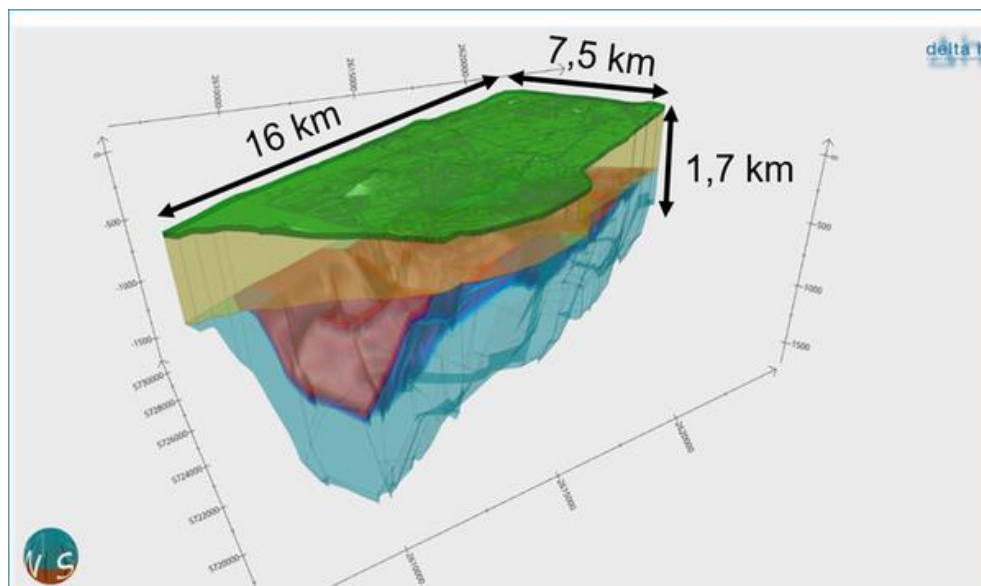


Abb.1: 3D-Ansicht des geologischen Struktur-Modells mit Karbon (blau, rot), Kreide (orange) und Quartär (grün).

Literatur

GD-NRW (2016): Digitale Daten zu Flözflächen, Störungen und geologischen Standardprofilen der Großschollen 136, 137 und 138 aus dem Projekt Kohlevorratsberechnung (KVB); Stand 3/2016.

RAG (2015): Digitale Daten zum Grubengebäude des BW Ost/Monopol im dxf-Format; RAG Servicebereich Standort-/Geodienste BGS; Stand 10/2015.

Integration des Feststofftransportes in ein reaktives 3D-Stofftransportmodell am Beispiel der PCB-Prognose für den Deutschen Steinkohlebergbau

Michael Eckart¹, Christoph Klinger¹, Joachim Löchte²

¹ DMT

² RAG

Kontakt: christoph.klinger@dm-group.com

Im Deutschen Steinkohlenbergbau sind an Ruhr und Saar bis 1986 schwerentflammbare PCB-haltige (bzw. bis 1989 PCDM-haltige) Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt worden. Durch Leckagen, Defekte etc. kam es zu Flüssigkeitsverlusten, so dass davon auszugehen ist, dass ein Teil der PCB-haltigen Hydraulikflüssigkeiten damals untertage verblieben ist. PCB sind in hohem Maße toxisch und sehr persistent. Messungen an verschiedenen Standorten zeigen, dass PCB nicht nur während der damaligen Verwendung, sondern auch heute noch im Grubenwasser vorhanden sind. Allerdings sind die Mengen inzwischen so weit zurückgegangen, dass eine Identifizierung nur noch über Separierung der im Grubenwasser enthaltenen Feststoffe möglich ist.

Aufgrund der starken Neigung von PCB zur Bindung an Partikeloberflächen unterliegen die Mobilisation und der Transport somit grundsätzlich anderen Rahmenbedingungen als echt gelöste Stoffe. Für ein Verständnis der Transportprozesse von Feststoffpartikeln und deren Abbildung in einem Modell sind daher neue Parameter zu berücksichtigen und zu beschreiben. Diesen Partikeln aus den als PCB-Quelle fungierenden Bereichen ist ein definierter PCB-Gehalt (in µg Kongener / kg Schwebstoff) zuzuordnen. In solchen Abbaufeldern ist entsprechend der Datenlage die Identifikation und damit Abgrenzung einzelner PCB-Quellen im Allgemeinen nicht möglich. Daher ist ein verallgemeinernder Ansatz erforderlich, der einem Proportionalitätsprinzip folgt: wo mehr mit solchen Stoffen gearbeitet wurde, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass PCB eingetragen wurden und als Quelle zur Verfügung stehen.

Die daraus resultierende PCB-Fracht kann sich unter Beibehaltung dieses Konzeptes nur durch Sedimentation von Partikeln vermindern. Die Sedimentation hängt von der Art und Größe der Partikel sowie der Strömungsgeschwindigkeit des Grubenwassers ab. Darüber hinaus müssen die Prozesse der Partikelmobilisation und der räumlichen Gegebenheiten einer Steinkohlengrube in Abhängigkeit von Wasserstand und Wasserstandsentwicklung berücksichtigt werden. Die richtige modelltechnische Umsetzung muss den Zusammenhang zwischen „PCB – Feststoffgehalt – geochemischen Fällungen – Sedimentation“ im Kontext eines Mehrmigrantensystems berücksichtigen.

Dieses komplexe Stoffsystem wurde in seinen Wechselwirkungen beschrieben und in das Boxmodell übertragen. Das Modell wurde am Beispiel der Wasserhebung aus den Saarbergwerken und an der Ruhr neben den üblichen makrochemischen Komponenten und Schwermetallen für verschiedene Feststofffraktionen und die PCB-Konzentration im Verbund eines reaktiven Mehrmigrantentransportmodells kalibriert. Hier wurde daraus auch eine Prognose für den Wasseranstieg abgeleitet.

Es erscheint demnach plausibel, dass durch Wasseranstieg das Mobilisationspotenzial für PCB vermindert wird. Die Überstauung einer PCB-Belastung in der Sohle verhindert turbulentes Fließen und damit Ablösung von Feststoffteilchen von der Sohle.

Literatur

Eckart, M., Rüterkamp, P., Klinger, C., Kories, H. & Gzyl, G. (2010): Qualitätsentwicklung der Grubenwässer bei der Flutung von Steinkohlen- und Erzbergwerken. Merkel, B.J. & Schipek, M. (eds.): Grubenwässer – Herausforderungen und Lösungen, 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag, 123-131, TU BA Freiberg

Hjulström, F. (1935): Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. Bulletin of the Geological Institute, 25, 221–527. University of Uppsala

Klinger, C., Charmoille, A., Bueno, J., Gzyl, G. & Garzon Súcar, B. (2012): Strategies for follow-up care and utilisation of closing and flooding in European hard coal mining areas. International Journal of Coal Geology, 89, Special Issue European Coal Conference 2010, 51 – 61

LANUV (2015): Belastungen von Oberflächengewässern und von aktiven Grubenwassereinleitungen mit bergbaubürtigen PCB (und PCB-Ersatzstoffen) - Ergebnisse des LANUV-Sondermessprogramms 2015. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, 38 pp

LUA (2015): Stand der PCB-Belastungen in Saarländischen Fließgewässern (Schwebstoffe und Biota). Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz des Saarlandes, Geschäftsbereich 2 Wasser, Fachbereich 2.4 Gewässerökologie, Bericht 2.4 – 2015 – 01, 42 pp

Prognose der Hydrochemie und Energieausbeute eines Untertage-Pumpspeicherwerkes im Steinkohlebergbau

Marion Stemke¹, Stefan Wohnlich²

¹ Hydrogeochemie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

² Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: mstemke@uni-mainz.de

Im Jahr 2018 wird der im Rahmen der Energiewende beschlossene Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau vollzogen sein. Derzeit ist eine Nachnutzung der alten Grubenbaue in Form von Pumpspeicherwerken in der Diskussion um die fluktuierende Energiegewinnung aus erneuerbaren Ressourcen auszugleichen. Die Installation von Pumpspeicherwerken in die stillgelegten Bergwerke kann zu einer Lösung der Speicherfrage beitragen, indem bei Energiedefizit Wasser in die vorhandenen Grubenbaue injiziert wird wobei eine Turbine Energie erzeugt. Ist überschüssige Energie vorhanden (viel Wind und Sonne), wird dieses Wasser aus dem Grubenbau gehoben und in einen See, Fluss oder Kanal abgeschlagen (Stemke et al., 2017; Niemann et al., 2013; Perau et al., 2012).

Die Grundwässer im Ruhrgebiet sind teilweise hochsalinar und variieren je nach Tiefenlage und regionaler Verbreitung. Bei einer Nutzung der Steinkohlebergbaue als Untertage-Pumpspeicherwerk im offenen System (Einbeziehung des Gebirges als Speicherraum) haben diese signifikanten Auswirkungen auf die Grund-, Gruben- und Oberflächenwässer. Daher werden PhreeqC-Berechnungen zu den sich einstellenden Mischwässern und Ausfällungen durchgeführt. Betrachtet werden mehrere Verfahrensweisen wie das Durchfluss- und Kreislaufsystem. Beim Durchflusssystem wird das Wasser an einem Schacht eingeleitet und an einem weiter entfernten gehoben und abgeschlagen. Dagegen wird beim Kreislaufsystem das Wasser am selben Standort eingeleitet und gehoben. Für diese Verfahren werden die durch die Grund-, Gruben- und Oberflächenwassermischung entstehenden Wasserinhaltsstoffe evaluiert und die Auswirkungen für den Speichersee bzw. Flüsse, in die das Mischwasser abgeschlagen wird, betrachtet.

Es hat sich gezeigt, dass ein Durchflusssystem aufgrund unzureichend zu Verfügung stehenden Oberflächenwassers nicht realisierbar ist. Machbar ist das Kreislaufsystem sowohl unter der Verwendung von Oberflächenwasser für die Injektion als auch die Nutzung von Grubenwasser. Eine Fahrweise nur mit Grubenwasser hat den Vorteil, dass ein Pumpspeicherwerk theoretisch in jedem Schacht unabhängig von dem Vorhandensein von Oberflächenwasser installiert werden kann.

Mit Hilfe der verschiedenen Verfahren und Systeme kann eine Gesamtenergie von bis zu 900 GWh/a erzielt werden.

Literatur

Niemann, A., Wortberg, T. & Eilert, W. (2013): Zur Machbarkeit untertägiger Pumpspeicherkraftwerke in den aktiven Steinkohlebergwerken des Ruhrreviers“, Zeitschrift Bergbau 8/2013.

Perau E., Schreiber, U., Niemann, A. & Koch, K. (2012): Unterflur-Pumpspeicherwerke in Anlagen des Steinkohlebergbaus“, Schriftenreihe der Technischen Universität München, Zentrum Geotechnik, Heft 52, Seite 27-38.

Stemke, M., Wohnlich, S. & Eckart, M. (2017): Untertage Pumpspeicherwerke – Hydrogeologische Aspekte der Nutzung von Steinkohlengrubenbauen im Ruhrgebiet. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft · 2017 (10) · Nr. 8.

Poster

Luftdruckabhängigkeit des Grubenwasserspiegels am Beispiel der Grube Königstein

Marcus Frenzel¹, Ulf Jenk¹, Michael Paul¹

¹ Abteilung AWM, Wismut GmbH

Kontakt: m.frenzel@wismut.de

Die gesteuerte Flutung der Grube Königstein bis zum natürlichen Einstauniveau ist essentieller Bestandteil der nachhaltigen Sanierung dieser ehemaligen Urangrube der Wismut GmbH. Bisher wurde die Flutung der Grube zur Vermeidung von hydrochemischen Beeinflussungen des 3. Grundwasserleiters bis zum Niveau von 140 m NN behördlicherseits limitiert. Im Regelbetrieb wird ein maximal möglicher Einstau angestrebt. Die Limitierung des Flutungsniveaus setzt eine kontinuierliche Überwachung und eine sensible Steuerung der Flutung der Grube voraus.

Die teilgeflutete Grube liegt im 4. Grundwasserleiter, dem tiefsten von vier kretazischen Aquiferen des Tafeldeckgebirges der Sächsischen Schweiz. Der Wasserspiegel ist im Bereich der Grube gespannt und wird durch einen Grundwasserstauer vom darüberliegenden 3. Grundwasserleiter getrennt. Im Rahmen des Flutungsmonitorings wird die Variabilität des Flutungswasserspiegels beobachtet und bewertet, da diese Auswirkungen auf die Flutungssteuerung hat. Wesentlichen Einfluss auf den Flutungswasserspiegel haben die Aufgabe- und Entnahmemenge während des kontrollierten Waschens des Flutungsraumes, aber auch luftdruckbedingte tägliche Schwankungen. Der Wasserspiegel korreliert umgekehrt proportional sehr deutlich mit dem Luftdruck. Die Luftdruckschwankungen spiegeln sich als Schwankung des Grubenwasserspiegels wider (siehe Abb. 1). Der barometrische Koeffizient liegt ungewöhnlich hoch. Bisher konnten maximale luftdruckbedingte Schwankungen des Wasserspiegels von rund 45 cm innerhalb von 3 Tagen beobachtet werden.

Zusätzlich zu den in der Literatur (Langguth 2004) mit der Elastizität des Korngerüsts begründeten luftdruckbedingten Schwankungen des Wasserspiegels in gespannten Aquiferen wirken im Rahmen von Grubenflutungen weitere Einflussfaktoren auf diesen Prozess. Insbesondere kommt es beim Höherfluten zum Einschluss von Luft im Porenraum und in isolierten Grubenhohlräumen v. a. unter den Bedingungen eines durch den darüberliegenden dichten Stauer abgeschirmten gespannten Aquifers. In derartigen hydrogeologisch positionierten Gruben werden an den Messstellen luftdruckbedingt ausziehende und einziehende Wetter beobachtet. Die Messstellen weisen häufig Barometerfunktion auf. Die Ursachen der Luftdruckabhängigkeit der Wasserspiegelschwankungen werden unter den Bedingungen der Grubenflutung diskutiert.

Luftdruckbedingte Schwankungen des Wasserspiegels sind vor allem für hydraulische Auswertungen kürzerer Zeiträume ein nicht zu vernachlässigender Effekt. Insbesondere für die Überwachung behördlich vorgegebener Limits ist eine Luftdruckkorrektur des Flutungswasserspiegels unerlässlich. Für die Aussteuerung des Flutungswasserspiegels ist daher ein genügend großer Puffer unterhalb des genehmigten maximalen Einstauniveaus einzuplanen.

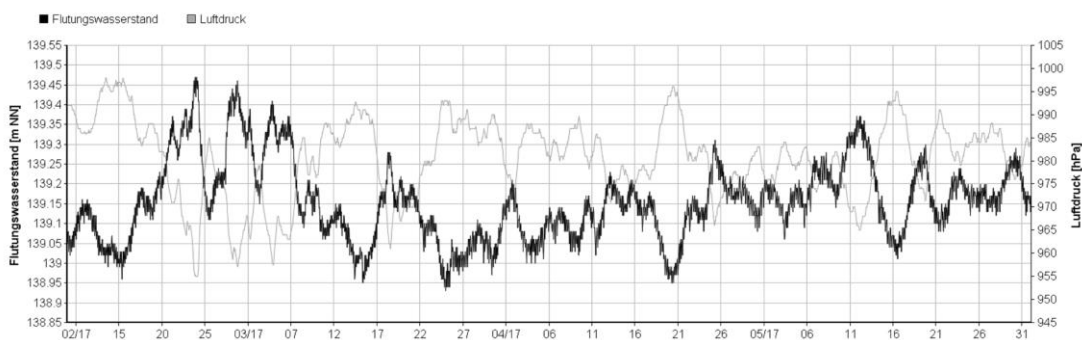


Abb. 1: Reaktion des Flutungswasserspiegels auf Luftdruckänderungen

Literatur

Langguth, H.-R. & Voigt, R. (2004): Hydrogeologische Methoden, 2. Auflage: Springer, 128 ff; Berlin-Heidelberg.

Hydrogeochemische Modellierung von Grubenwasser aus stillgelegten Steinkohlebergwerken: Konventionelle geothermische Nutzung und Wärmespeicherung

Felix Jagert¹

¹ International Geothermal Centre (GZB)

Kontakt: felix.jagert@rub.de

Nach dem Ende des deutschen Steinkohlenbergbaus Ende 2018 verbleiben im Ruhrrevier, dem Aachener und Erkelenzer Revier und in den Revieren Saar und Ibbenbüren eine Vielzahl von unterirdischen Hohlraumstrukturen aus gefluteten Schächten, Stollen und Baufeldern bis ca. 1700 m Teufe. Diese im Vergleich zur natürlichen Klüftung deutlich verbesserte Gebirgsdurchlässigkeit bietet ein großes Potenzial für lokale Nahwärmenetze auf Niedertemperaturniveau, indem das Grubenwasser thermisch mittels Wärmetauscher und Wärmepumpen genutzt wird.

Die Art der thermischen Nutzung ist abhängig von den Standortgegebenheiten (z. B. geplante Neubaugebiete, Abnehmerstruktur, Temperaturniveau, Förderhöhe) und muss individuell geprüft werden. Neben der konventionellen Nutzung als Wärmequelle kann auch eine Wärmespeicherung in Grubengebäuden in Betracht gezogen werden, sodass das natürliche Temperaturniveau weiter angehoben wird.

Die Nutzung von Grubenwasser zu thermischen Zwecken kann aufgrund der chemischen Beschaffenheit zu Mineralausfällungen und/oder Korrosion in Anlagenteilen und somit zu erhöhtem Wartungsaufwand bzw. längeren Standzeiten der Anlage und zu unerwarteten Kosten führen. Der Mineralisierungsgrad der Grubenwässer ist teufenabhängig und damit abhängig vom betrachteten Standort und dem Anlagenkonzept. In der Regel handelt es sich um sulfatreiche Brackwässer und Salzwässer, seltener auch um sulfat- oder bariumreiche Solen.

Für diese Untersuchung wurde das hydrogeochemische Rechenprogramm PHREEQC mit verschiedenen thermodynamischen Datenbanken eingesetzt, um eine Abschätzung von Ausfällungen und Korrosion für zukünftige Anlagen vorzunehmen. Kinetische Hemmung und thermodynamische Unsicherheiten in den Datenbanken, sowie die Annahme eines Equilibrium-Zustandes in der Modellierung ermöglichen prinzipiell keine präzisen quantitativen Vorhersagen.

Die geochemischen Reaktionen wurden für verschiedene Ionenstärken, die die Grubenwässer aufweisen können, sowie für verschiedene Druck- und Temperaturbedingungen und für die Mischung von verschiedenen Wässern unterschiedlicher Sohlen simuliert. Es wurden Sättigungsindizes der typischen Mineralphasen Calcit, Gips/Anhydrit, Baryt, Coelestin, Quarz, Pyrit, Goethit, Eisen- und Manganoxide für Temperaturen zwischen 10 – 90 °C betrachtet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Abkühlung der Grubenwässer trotz des hohen Härtegrades unproblematisch für den Betrieb bleibt. Die Aufwärmung von Grubenwasser bei der Wärmespeicherung kann die Fällung von Calcit und Gips/Anhydrit bewirken, sodass eine maximale Einspeichertemperatur von ca. 75 – 90 °C empfohlen wird. Ein obertägig geschlossenes System ohne Sauerstoffeintrag oder CO₂-Entgasung wird empfohlen. Die pH-Werte bleiben stabil, jedoch kann unter reduzierenden Bedingungen H₂S vorhanden sein, welches korrosiv auf Eisen wirkt. Der Einsatz korrosionsbeständiger Edelstähle oder Titan wird empfohlen.

Literatur

- Appelo, C.A.J. (2015): Principles, caveats and improvements in databases for calculating hydrogeochemical reactions in saline waters from 0 to 200 °C and 1 to 1000 atm. *Applied Geochemistry* 55 (2015) 62-71. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.11.007.
- Parkhurst, D.L. & Appelo, C.A.J. (2013): Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3 – A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/ [abgerufen am 23.10.17].
- Wedewardt, M. (1995): Hydrochemie und Genese der Tiefenwässer im Ruhrrevier. DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, 39, 250 S., Bochum.

Hydrochemie der Erbstollenwässer im östlichen Ruhrgebiet und deren Modellierung

Andreas Nasemann¹, Frank Wisotzky¹, Andre Banning¹

¹ Ruhr Universität Bochum

Kontakt: andreas.nasemann@rub.de

Erbstollen entstanden zur Zeit der frühen Industriellen Revolution, bevor mechanisierte Pumpen die tiefere Erschließung der Lagerstätte ermöglichten. Nach (Koetter 2001) ist ein Erbstollen ein: „Hauptstollen, der von einer möglichst tiefen Stelle (Ruhr) aus mehrere Zechen gleichzeitig entwässerte und bewetterte. [...] Alle angeschlossenen Bergwerke zahlten an die Betreiber des Erbstollens eine Abgabe (das Stollenneuntel).“ Da sie den Berg frei entwässern, und auch nach Verbruch einen Weg für Wasser darstellen, dränieren viele von ihnen bis heute das Gebirge oberhalb ihrer Sohle. Sie stellen einen erheblichen Eingriff in den unterirdischen Wasserkreislauf dar. Durch ihre Funktion ermöglichen sie Oxidations-, Lösungs-, Fällungs- und Mobilisierungsprozesse. In aller Regel zeigen ihre Grubenwässer also, auch in Abhängigkeit von den lokal anstehenden Gesteinen und Mineralien, erhöhte Konzentrationen an gelösten Metallen und anderen Ionen die über sie in die lokalen Vorfluter gelangen.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Hydrochemie der Wässer einiger Erbstollen des östlichen Ruhrgebiets. Die Datengrundlage bildet eine im Sommer 2017 vorgenommene Beprobungskampagne und Analytik, welche durch die Daten zweier vorliegender Arbeiten (Krome 2010) & (Weber 2016) und einer Publikation (Wisotzky 2017) ergänzt wird. Der angetroffene Wasserchemismus wird dargestellt und die Sättigungszustände möglicher Mineral- und Gasphasen berechnet. Mittels des Programms PhreeqC erfolgt eine Vorwärts- und Inversmodellierung, welche Einblicke in mögliche ablaufende Prozesse und somit die Entstehung der beobachteten Wässer geben soll.

Die untersuchten Erbstollen befinden sich im südöstlichen Teil des Ruhrgebiets, in Bochum, Dortmund, Holzwickede und Witten, wobei das Mundloch eines der unter Bochum verlaufenden Stollen auf Hattinger Stadtgebiet liegt.

Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass die wichtigsten Prozesse für die beobachteten Wässer die Calcit-, Dolomit-, Pyrit-, Halit-, Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidlösung sind. Der prägende Ausfällungsprozess, der aber nicht bei allen Erbstollen beobachtet wurde, ist die Eisen(III)-Hydroxidfällung. Es ist bei Vergleich der verschiedenen Beprobungen festzustellen, dass die beobachtete Chemie recht konstant über Jahre hinweg ist. Die Laborergebnisse der eigenen Kampagne stehen derzeit (Stand 30.10.2017) noch aus.

Literatur

Koetter, G. (2001): Bergbau im Muttental, Eigenverlag, 198 S., Witten.

Krome, A.-K. (2010): Wasserchemie von Erbstollen in der näheren Umgebung von Bochum. Unveröffentlichte BSc.-Arbeit, Ruhr Universität Bochum, 143 S. Bochum.

Weber, J. (2016): Erbstollenwässer im westlichen Ruhrgebiet (westlich von Bochum). Unveröffentlichte BSc.-Arbeit, Ruhr Universität Bochum, 56 S. Bochum.

Wisotzky, F. (2017): Wasserchemie der Erbstollenwässer im südlichen Ruhrgebiet. – In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW). 10 S.

Neue Erkenntnisse in der Erfassung und Bildung von Schichtungen im Wasser gefluteter Bergwerksschächte

Marion Stemke¹, Georg Wieber¹, Stefan Wohnlich², Thorsten Gökpınar²

¹ Hydrogeochemie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

² Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: mstemke@uni-mainz.de

Seit mehr als 2500 Jahren werden in Deutschland Rohstoffe abgebaut. Dabei entstanden bundesweit mehr als 100.000 Grubenbaue mit Teufen von bis zu 1750 m. Nach der Stilllegung der Gruben stieg der Grundwasserspiegel in den Schächten im Laufe der Jahre auf das Niveau der Tiefbausohlen an. Diese wassererfüllten Grubengebäude beinhalten

durch das enorm große Wasservolumen, welches oft durch aufsteigende Tiefenwässer erhöhte Temperaturen aufweist, ein hohes potentiell geothermisches Potential. Um dieses optimal ausnutzen zu können, sind Untersuchungen im Bereich der Wasserchemie und der Hydraulik erforderlich. Auftretende Dichteschichtungen (unterschiedliche, in sich weitgehend homogene horizontale Zonen in einem Wasserkörper) im Wasser der Schächte können eine geothermische Nutzung limitieren, da diese meistens höher mineralisiertes und oft belastetes Wasser von oberflächennäherem unbelasteten Wasser trennt.

Die Detektion solcher Schichten wird am Beispiel von ausgewählten Schächten im Sieger- und Sauerland exemplarisch dargestellt. Dazu gehört sowohl die visuelle Untersuchung der Schächte durch Kamerabefahrungen als auch die Bestimmung der physiko-chemischen Parameter des Wassers.

Die Untersuchungen zeigen, dass Schichtungen in Schächten auftreten können. Mit Hilfe einer Unterwasserkamera konnten sie visuell detektiert und nach Messung der Parameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und Druck berechnet und nachgewiesen werden (Wieber, 2011; Wieber & Ofner, 2008). Es hat sich auch gezeigt, dass Dichteschichtungen insbesondere in oberflächennahen Bereichen (saisonalen) Schwankungen unterliegen. Durch Säulenversuche im Labor konnte nachgewiesen werden, dass Schichtungen auch durch einen horizontalen Wasserzufluss entstehen können (Kramer, 2016). Ebenso unterliegen sie einer dynamischen Entwicklung. Über Langzeitmessungen konnte das Entstehen und Kollabieren von Schichtungen beobachtet werden. Bei dem untersuchten Beispiel handelt es sich um einen „Stauwasserkörper“ im Gleichgewicht zu Gips, welcher eine hohe Dichte aufweist. Die durch die Grundwasserneubildung dem Schacht zufließenden gering mineralisierten Wässer bilden eine aufliegende Schicht. Diese nimmt mit der Zeit an Mächtigkeit und Mineralisation zu. Die Dichteunterschiede zwischen den beiden Schichten nehmen dadurch kontinuierlich ab, bis die Schichtung letztendlich kollabiert und sich erneut aufbaut.

Literatur

- Kramer, A. (2016): Gesamthydraulische Charakterisierung eines aufgelassenen Erzbergwerkschachtes. Masterarbeit Ruhr-Universität Bochum (unveröffentlicht).
- Wieber, G. (2011): Geflutete Grubenbaue als Wärmespeicher. - bbr-Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 05/11, 34-40, Bonn.
- Wieber, G. & Ofner, C. (2008): Geothermische Potentiale gefluteter Bergwerke. – In: bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 12/2008: S. 72-77, 6 Abb., 2 Tab., Bonn.

3 Tiefengeothermie und Tiefengrundwasser

Vorträge

O 3.1: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 15:45-16:00

Erschließung kluftdominierter Aquifere – Sidetrack Geretsried GEN-1ST-A1 (Malm Süddeutschland)

Michael Dussel¹, Inga Moeck¹

¹ *Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG)*

Kontakt: Michael.Dussel@liag-hannover.de

Der verkarstete und geklüftete Malm (Oberjura) im Süddeutschen Molassebecken stellt kurz- und mittelfristig das bedeutendste tiefengeothermische Reservoir in Deutschland dar. Während bislang geothermische Anlagen hauptsächlich im Großraum München abgeteuft wurden, wandern neuerdings neue Projekte weiter nach Süden in Richtung der gefalteten Molasse. Der im Oktober 2017 bis in eine Endteufe von 5700 m (MD) abgeteufte Sidetrack GEN-1ST-A1 in der bereits im Jahr 2013 gebohrten und nicht fündigen Stammb Bohrung Geretsried GEN-1 wurde im Rahmen des Forschungsverbundprojektes „Dolomitkluft“ (Projektpartner: ENEX, LIAG, TUM, GTN und G.E.O.S) in gestörte und geklüftete Kalke des Oberjuras (Malm) abgelenkt. Eine im Vorfeld der Bohrung ausgeführte Geophonversenkungsmessung (VSP) führte zu einer Verbesserung des Geschwindigkeitsmodells und dies wiederum zu einem genaueren 3D-Untergrundmodell der vorhandenen 3D Seismik. Auf Grundlage dessen wurde als Bohrziel der Zwickel eines Y-Grabens in rund 4,5 km Tiefe identifiziert. Gegenüber allen bislang im Süddeutschen Molassebecken abgeteufte Geothermiebohrungen wurden in der Bohrung Geretsried GEN-1ST-A1 zum ersten Mal Bohrkerne gewonnen, die eine verbesserte petrophysikalische und hydraulische Charakterisierung der gestörten und geklüfteten Karbonate des Oberjuras ermöglichen. Totaler Spülungsverlust im mikritisch ausgebildeten höheren Malm deutet bereits während des Bohrvorgangs auf eine wesentlich höhere Gebirgsdurchlässigkeit als in der Stammb Bohrung GEN-1.

Danksagung:

Das Forschungsverbundprojekt „Dolomitkluft“ wird finanziert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 0324004).

O 3.2: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 16:00-16:15

Geochemische und isotopengeochemische Charakterisierung quartärer Grundwässer des Oberrheingrabens zur Identifizierung von Tiefenwassereinflüssen

Margot Isenbeck-Schröter¹, Sami Al Najem, Vanessa Belafi, Simon Ritter, Gerhard Schmidt

¹ *Institut für Geowissenschaften, Universität Heidelberg*

Kontakt: margot.isenbeck@geow.uni-heidelberg.de

Im Rahmen des Forschungsvorhabens TRACE des BMWi (Isenbeck-Schröter et al., 2016) sowie eines Forschungsauftrages der DEW (Deutsche ErdWärme GmbH) wurden oberflächennahe Grundwässer in vier Geothermie-Prospektionsgebieten des Oberrheingrabens (ORG) geochemisch und isotopengeochemisch charakterisiert. Hierzu wurde ein Multimethodenansatz entwickelt, der das Fündigkeitsrisiko von Tiefengeothermiebohrungen durch Auffinden von Spuren der Tiefenwässer in oberflächennahen Wässern vermindern soll (Al Najem, 2016). Zur Charakterisierung der Wässer wurden Haupt- und Spurenelemente, Seltenerdelemente (SEE) sowie ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-Verhältnisse verwendet. Ergänzend liegen für einen Teil der Proben Daten zur Edelgasisotopie vor (Freundt, 2017). Die Untersuchungsgebiete liegen im Bereich Groß-Gerau (nördlicher ORG), im Bereich um Heidelberg nördlich und südlich des Neckars sowie im südlichen ORG südlich von Freiburg jeweils östlich des Rheins und bei Landau westlich des

Rheins. Die allgemeine Geochemie der Wässer spiegelt im Wesentlichen die Sedimentquellen wieder. Die Variationen zwischen den Wassertypen aus den Sedimenten im südlichen und nördlichen ORG sowie links- und rechtsrheinisch lassen sich anhand von Stiff-Diagrammen sehr gut herausstellen. Die Karbonatlösung wird darüber hinaus durch Mineralsättigungen genauer charakterisiert. Die Signaturen der SEE variieren vor allem bei Einflüssen aus Kristallingesteinen (südlicher ORG) oder zeigen anthropogene Einflüsse an. Zur Identifizierung von Tiefenwassereinträgen sind die Gehalte mit $< 1\%$ jedoch zu gering. Tiefenwassereinflüsse sind dagegen durch spezifische Versalzungsspuren, die zu Austauscherrwässern und damit zu typischen Assymetrien in den Stiffdiagrammen führen, signifikant identifizierbar. Weitere Kriterien sind niedrige Cl/Br-Verhältnisse, die regionalen Tiefenwässern ähneln, ein höherer CO₂-Partialdruck des Wassers sowie ein erhöhtes ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-Verhältnis. Anthropogen verursachte Versalzungserscheinungen, die vor allem im südlichen ORG gefunden wurden, sind gegenüber den Tiefenwassereffekten mithilfe des Multimethodenansatzes sehr gut abgrenzbar.

Wir danken dem BMWi für die finanzielle Förderung des Projektes TRACE. Stefan Rheinberger, Silvia Rheinberger, Christian Scholz sowie René Eichstaedter (AG Norbert Frank) sind für die ausgezeichnete Analytik verantwortlich. Wir bedanken uns bei Werner Aeschbach und Florian Freundt am Institut für Umweltphysik der Univ. Heidelberg für die fruchtbare Zusammenarbeit. Dank gilt ebenfalls der GeoT GmbH (Karlsruhe), vor allem Dr. Michael Kraml für die Koordination des Projektes.

Literatur

- Al Najem, S. (2016): Hydrogeochemische Charakterisierung von Grundwässern des Oberrheingrabens zur Identifizierung störungsbedingter Tiefenwasser-Einflüsse. Dissertation, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 157 S.
- Freundt, F. (2017): Application of helium isotopes in shallow groundwaters for geothermal energy exploration in the upper Rhine graben. Dissertation, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 184 S.
- Allegro, M. (2006): What does it mean? – In: TURM, P., BAUER, B. & LÄUFER, R. (eds.): Guess what. Springer, 16-44; Hintertux.
- Rusitzka, E. & Jubitz, K.-B. (1968): Trias. – In: Grundriß der Geologie der DDR, Bd. 1: 268-89; Berlin.
- Wolburg, J. (1969): Die epigenetischen Phasen der Muschelkalk und Keuper Entwicklung Nordwest Deutschlands, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. – Geotekt. Forsch., 32: 1-65; Stuttgart.

O 3.3: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 16:15-16:30

Hydrogeochemical Modelling of Aquifer Heat Storage Systems

Thomas Baumann¹, Martina Ueckert¹, Thorsten Hörbrand¹

¹ Institut für Wasserchemie, Technische Universität München
Kontakt: tbaumann@tum.de

Energy storage systems are a key element in the transition process from fossil fuels to highly dynamic renewable energy sources, because they can level energy production and demand. Aquifer heat storage systems can increase the flexibility of combined heat and power production, either with gas turbines or geothermal power plants.

In contrast to small scale surface level storage systems the working fluid cannot be chosen freely and reactions within the storage systems have to be taken into account. These quickly become the limiting factors for such systems, especially if a highly dynamic operation of the aquifer storage system is planned.

The models that we present are based on long term observations of deep hydrogeothermal facilities in the carbonates in the Molasse Basin, a large scale heat storage test and an in depth assessment of the thermodynamic databases and the implementation of the model codes.

Using the calibrated and rather robust models, the short term and long term behaviour of heat storage systems can be predicted and countermeasures can be developed. On a regional scale, the hydrogeochemical limits for aquifer storage systems can be assessed.

References

- Baumann, T., Bartels, J., Lafogler, M. & Wenderoth, F. (2017): Assessment of heat mining and hydrogeochemical reactions with data from a former geothermal injection well in the Malm Aquifer, Bavarian Molasse Basin, Germany, *Geothermics*, 66, 50-60.

Numerische Berechnung des Einflusses von Störungszonen auf die Wärmespeicherung in Grubengebäuden des Bergwerks Prosper-Haniel

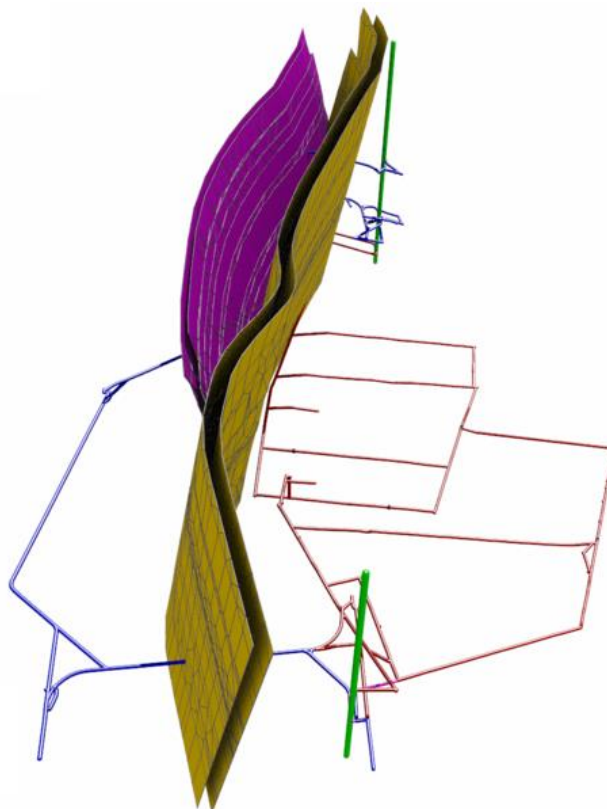
Torsten Seidel¹, Berit Schwarze¹, Florian Hahn², Gregor Bussmann²

¹ delta h Ingenieurgesellschaft mbH

² International Geothermal Centre

Kontakt: ts@delta-h.de

Innerhalb des Forschungsprojekts Geo-MTES soll ein anwendungsnahes saisonales Wärmespeicherungskonzept in einem stillgelegten Steinkohlebergwerk (am Beispiel des Steinkohlebergwerks Prosper-Haniel) erstellt werden. Zielsetzung des Geo-MTES Projekts ist es die saisonal anfallende Überschusswärme aus Industrie- und Kraftwerksprozessen (z.B. Biogas-BHKW) oder durch Kopplung mit dem Fernwärmenetz, in das Grubengebäude einzuspeisen und im Winter bei Bedarf für die Wärmeversorgung von Wohn- und Gewerbegebieten in Anspruch zu nehmen. Bis mindestens 2018 ist das Steinkohlebergwerk Prosper-Haniel noch vollständig zugänglich, sodass gezielte Grubenwärmespeicherungskonzepte entwickelt und etabliert werden können. Als Grundlage eines saisonalen Grubenwärmespeichers können innerhalb des Bergwerks Prosper-Haniel Temperaturen von 30 - 50° C genutzt werden, da die Abbaubereiche bis auf eine Teufe von über 1200 m reichen. Im Detail soll die numerische Modellierung der saisonalen Wärmespeicherung innerhalb des Grubengebäudes erläutert und dargestellt werden. Für die Berechnung des Wärmetransportes wird mit dem Programmsystem SPRING (König et al. 2012) ein numerisches Wärmetransportmodell erstellt, das die hydraulischen und thermischen Prozesse im Wärmespeicher abbilden kann.



Das als Grubenwärmespeicher angedachte Bergwerk befindet sich im Süden des Münsterländer Kreidebeckens inmitten einer regionalen geologischen Störungzone. Aus den Klüften des Krudenburg-Sprungs und des Östlichen Grafenmühlen-Sprungs treten am Standort seit Jahrzehnten große Wassermengen aus. Das austretende Wasser stammt aus einem Zechstein-Riff, das eine hydraulische Verbindung zwischen Deck- und Grundgebirge durch das Störungssystem bildet (Hewig&Rüterkamp). Wasseraustritte in Größenordnungen, wie sie auf Prosper-Haniel vorkommen, können den regionalen Grundwasserfluss (Faulkner et al. 2010) und somit auch Wärmetransport und Wärmespeicherung wesentlich beeinflussen. Zur realitätsnahen Abbildung dieser Prozesse ist somit der Einbau der

durch das Abbaufeld verlaufenden Störungszone in das Modell notwendig. Darauf basierend wird das Speichersystem dimensioniert und Aussagen über dessen Leistungsfähigkeit getroffen.

Literatur

- Hahn, F., Bussmann, G., Ignacy R., & Bracke, R. (2016): HT-MTES: Seasonal heat storage in abandoned coal mine. - In: European Geothermal Congress 2016 - Proceedings. Strasbourg, France
- Faulkner, D.R., Jackson, C.A.L., Lunn, R.J., Schlische, R.W., Shipton, Z.K., Wibberley, C.A.J. & Withjack, M.O. (2010): A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones. In: Journal of Structural Geology 32 (11), S. 1557–1575.
- Hewig, R. & Rüterkamp, P. (2005): Geologisch-hydrogeologische Stellungnahme zur geplanten Durchquerung des Krudenburg-Sprungs auf der 7. Sohle, BW Prosper-Haniel, Hg. v. Deutsche Montan Technologie GmbH, Essen
- König, C., Becker, M., Diehl, A., Seidel, T., Rosen, B., Rüber, O. & Zimmermann, C. (2012): SPRING. Simulation of Processes in Groundwater. Manual. 4.32. Aufl. delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten.
- Metschies, T., Becker, M., König, Ch. & Jenk, U. (2010): Modelling of the behaviour of deep mines in regional aquifer systems. In: IMWA Symposium "Mine Water and Innovative Thinking", Sydney, Nova Scotia, Canada
- Witthüser, K.T., Holland, M., Seidel, T. & Koenig, C.M. (2015): Numerical Modelling of Mine Dewatering and Flooding in the Evander Gold Basin. - In: South African Journal of Geology, Volume 118.1 Page 71-83, South Africa

O 3.5: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 16:45-17:00

Thermisch-hydraulische Modellierung von optimierten geothermischen Mehrfachdubletten und Multibohrlochsystemen im tiefliegenden grundwasserführenden Malm in München und Umgebung – Reservoirmodellierung des thermalen Karbonat-Aquifers Oberjura

Ernesto Meneses Rioseco¹, Jennifer Ziesch, Hartwig von Hartmann, Britta Wawerzinek, Rüdiger Thomas, Hermann Buness

¹ Geothermik & Informationssysteme, Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik
Kontakt: Ernesto.MenesesRioseco@liag-hannover.de

Für Hydrogeologen und Reservoir-Modellierer ist es immer herausfordernd gewesen, die hydrogeothermische Energiebilanz und den Grundwasserhaushalt des verkarsteten und geklüfteten Malm-Aquifers des Süddeutschen Molassebeckens quantitativ zu erforschen. Im Süddeutschen Molassebecken, eines der meist untersuchten Vorlandbecken der Welt, kommt für die tiefe Geothermie die Formation des Oberjura (Malm) als wichtigstes hydrothermales Reservoir im Mitteleuropa eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere werden die natürlichen Grundwasserströmungen der Thermalwasservorkommen im Malm durch zahlreiche geothermische Dubletten und Tripletten im Großraum München signifikant gestört. Mit der Fernwärme-Vision der Stadtwerke München (SWM) bis 2040, München als die erste Großstadt Deutschlands mit 100 Prozent regenerativen Energien zu beliefern, soll eine Kapazität von 400 MWth mit Hilfe von ca. 40 bis 50 geothermischen Bohrungen ausgebaut werden. Der hiesige Beitrag konzentriert sich auf die numerische Modellierung von Grundwasserströmung und Wärmetransport im tiefliegenden, grundwasserführenden Malm in München und Umgebung für eine Dauer von ca. 50 Jahren. Im Fokus der Untersuchungen steht die Optimierung der gegenseitigen Beeinflussung von geothermischen Mehrfachdubletten und Multibohrlochsystemen. Die numerischen Modelle beinhalten den vollständigen Workflow der Reservoirmodellierung, nämlich den geologischen Aufbau des Malm mit seiner Faziesverteilung sowie seiner tektonischen Zerlegung und Temperaturverteilung. Zur Reservoirmodellierung gehört auch die Bilanzierung der Thermalwasservorkommen unter dem Einfluss von lokalen Mehrfachentnahmen und -reinjektionen von Thermalwasser. Dabei wurde ein Teil des strukturierten Netzes des bereits bestehenden Regionalmodells „Großraum München“ (Dussel et al. 2016) mit Hilfe von FEFLOW 7.0 in ein unstrukturiertes 3D-Gitter transformiert. Dies ermöglicht nun die Implementierung von einfallenden Störungen und geeigneten Bohrungen mit Hilfe von Skua-GoCAD und ArcGIS.

Erste Ergebnisse hydraulisch-thermischer Simulationen mit Hilfe von Prinzipmodellen (Jobmann & Schulz 1989) zeigen, dass für die Optimierung der Anordnung von Dublettensystemen die Berücksichtigung der benachbarten, sich bereits im Betrieb befindlichen, Geothermieranlagen wichtig ist. Hydraulisch aktive Primärstörungen spielen eine bedeutende Rolle bei der Optimierung eines Bohrrasters im hydraulisch stark heterogenen Malm. Für die Gesamtenergiebilanz des Mehrfachdublettensystems ist die Platzierung der Bohrungen untereinander wichtig. Vorläufige

Ergebnisse zeigen, dass Bohrrasteranordnungen mit einem Gitterabstand von ca. 1 km bis 2 km sowie Fließraten von 80 bis 120 l/s für eine Zeitspanne von ca. 50 Jahren erfolgsversprechende Szenarien ergeben könnten. Für die Grundwasserhydraulik und Energiebilanzierung zeichnet sich ab, dass Mehrfachdubletten-Konfigurationen gegenüber einer einzelnen Dublette vorteilhaft sind.

Literatur

Dussel, M., Lüschen, E., Thomas, R., Agemar, T., Fritzer, T., Sieblitz, S., Huber, B., Birner, J. & Schulz, R. (2016): Forecast for thermal water use from Upper Jurassic carbonates in the Munich region (South German Molasse Basin). *Geothermics*, Vol. 60, pp. 13-30.

Jobmann, M. & Schulz, R. (1989): Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im Süddeutschen Molassebecken. –GGA-Abschlussbericht. Archiv Nr. 105 040. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover.

O 3.6: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 17:00-17:15

Einbohrloch Tracerversuche in einem hydraulisch stimulierten tiefen geothermischen Reservoir

Wolfram Rühaak¹, Roland Stumpf¹, Judith Orilski¹, Vera Hehn¹, Torsten Tischner¹

¹ BGR

Kontakt: w.ruehaak@gmx.net

Das Norddeutsche Becken ist aufgrund seiner Ausdehnung von großer Bedeutung für die tiefe Geothermie in Deutschland. Entscheidend hierfür ist die Entwicklung von geeigneten Erschließungs- und Nutzungskonzepten für die geringporösen, wenig durchlässigen Sedimentgesteine im tiefen Untergrund.

Eine Möglichkeit sie als Wärmetauscher nutzbar zu machen, besteht in der Erzeugung von künstlichen Rissen im Gestein durch das Einpressen von Wasser unter hohem Druck (Wasserfrac).

Weltweit ist die Bohrung Horstberg eine der wenigen Geothermiebohrungen, in der in gering durchlässigem Sedimentgestein ein großflächiger künstlicher Riss geschaffen wurde.

Horstberg Z1 liegt ca. 70 km nordöstlich von Hannover und erschließt in einer Tiefe von ca. 3.700 m die für die Geothermie wichtigen Schichten des Mittleren Buntsandsteins. In den Jahren 2003/04 wurde dort mithilfe einer hydraulischen Stimulation ein großflächiger Riss geschaffen. Die Temperatur des Thermalwassers beträgt in dieser Tiefe ca. 145°C.

In Horstberg besteht die einmalige Gelegenheit, die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften einer künstlich geschaffenen Rissfläche zu untersuchen, Betriebserfahrungen bei deren langfristiger Durchströmung zu sammeln und das Potenzial der geothermischen Erschließung mittels Risserzeugung zu beurteilen.

Über den künstlich geschaffenen Riss, der nachweislich die Buntsandsteinschichten Detfurth und Solling verbindet, ist die Thermalwasserzirkulation in ca. 3.700 m möglich. Kaltes Wasser wird im mittleren Rohr der Bohrung nach unten in den Detfurth-Sandstein gepumpt, erwärmt sich, während es über den Riss zum Solling-Sandstein fließt, und steigt von dort über den Ringraum der Bohrung wieder auf. Übertage kann das Thermalwasser untersucht, genutzt und anschließend wieder verpresst werden.

Um die hydraulischen Eigenschaften des Systems besser zu verstehen sind mehrere Tracerversuche geplant um die vertikale Rissfläche zu charakterisieren.

Es wird das generelle Vorgehen bei dem Tracerversuch als auch Konzepte der numerischen Auswertung des Tracerversuchs vorgestellt.

Poster

P 3.1

Das geothermische Potential der Tiefenaquifere auf der Arabischen Halbinsel

Heiko Dirks¹, Tilman Mieseler¹

¹ Dornier Consulting

Kontakt: heiko.dirks@dornier-consulting.com

Der Arabische Schelf im Osten der Arabischen Halbinsel wird von einer bis zu 10 km mächtigen Sedimentschicht aufgebaut. Deren Aquifere werden intensiv für die Gewinnung von Trinkwasser und landwirtschaftliche Bewässerung genutzt. Die tiefsten Trinkwasserbrunnen nutzen den Obertriassischen Minjur Aquifer im Stadtgebiet Riads und sind bis zu 2,500 m tief (Wasserspiegel 400 m u GOK). Das Wasser hat eine Temperatur von etwa 70°C an der Oberfläche und eine Salinität von 3,000 ppm, bei hohen Entnahmeraten von bis zu 70 l/s. Die Schichten fallen nach Osten hin ein, der geothermische Gradient wird grösser. In von Dornier Consulting durchgeführten Forschungsbohrungen in der Rub Al Khali Wüste wurden in den kretazischen Sandsteinen des Wasia Aquifers in 2,650 m Tiefe >100°C heißes Wasser gefunden, das am Brunnenkopf einen artesischen Druck von 9.6 bar aufbaut und in Auslauftests mit 125 l/s und einer Wassertemperatur von noch 95°C austrat. Die Salinität war mit nur 3,400 ppm sehr gering. Basierend auf diesen und anderen Bohrungen wurde eine geothermische Potentialkarte für die östliche Arabische Halbinsel erstellt. Während Bereiche mit >100°C Wassertemperatur potentielle Standorte für die Stromerzeugung darstellen, könnte Grundwasser ab 70°C z.B. zur Entsalzung (MED Verfahren) von Grund- oder Meerwasser verwendet werden.

P 3.2

Einfluss variierender Druck- und Temperaturbedingungen auf die hydraulischen Gesteinsparameter von jurassischen Karbonatgesteinen des Bayerischen Molassebeckens

Daniel Bohnsack¹, Kai Zosseder¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

Kontakt: Daniel.Bohnsack@tum.de

Das Bayerische Molassebecken zählt zu den vielversprechendsten Gebieten in Europa um neue geothermische Projekte umzusetzen. Weit verbreitete und teils stark verkarstete Kalkstein-Ablagerungen aus dem Oberjura (Weißer Jura, "Malm") bilden aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften wie hohe Porosität, Permeabilität und Speicherkapazität eine gute Grundlage zur Nutzung als Thermalwasserspeicher. Aufgrund der Heterogenität karbonatischer Ablagerungen variieren die hydraulischen und thermischen Eigenschaften des Grundwasserleiters und sind zudem abhängig vom vorherrschenden Gebirgs- und Porendruck sowie der Umgebungstemperatur. Um neue Standorte für die geothermische Exploration und die Erfolgsaussichten der einzelnen Projekte besser vorhersagen zu können, bedarf es daher einer genauen Untersuchung dieser Parameter und deren Abhängigkeit gegenüber den lokalen Aquiferbedingungen.

Zur Untersuchung der hydraulischen Parameter des Aquifers werden mehrere Kernproben unterschiedlicher Faziesbereiche aus dem "Malm"-Aquifer der Bohrungen Moosburg SC4 und der Forschungsbohrung Dingolfing untersucht. Mit Hilfe verschiedener experimenteller Laboruntersuchungen werden die Porosität, Permeabilität und das poroelastische Verhalten des Aquifergesteins bei verschiedenen Druck- und Temperaturszenarien bestimmt. Bei ersten Versuchen zeigt sich eine teils deutliche Verminderung sowohl der Porosität als auch der Permeabilität mit Erhöhung des effektiven Umlagerungsdrucks.

Zur Durchführung der Permeabilitäts- und Druckversuche wird eine Thermo-Triaxialprüfanlage genutzt, die eine Simulation des Überlagerungs- und Umgebungsdrucks, Porendrucks sowie der Reservoirtemperatur unabhängig voneinander ermöglicht (Abb. 1, links).

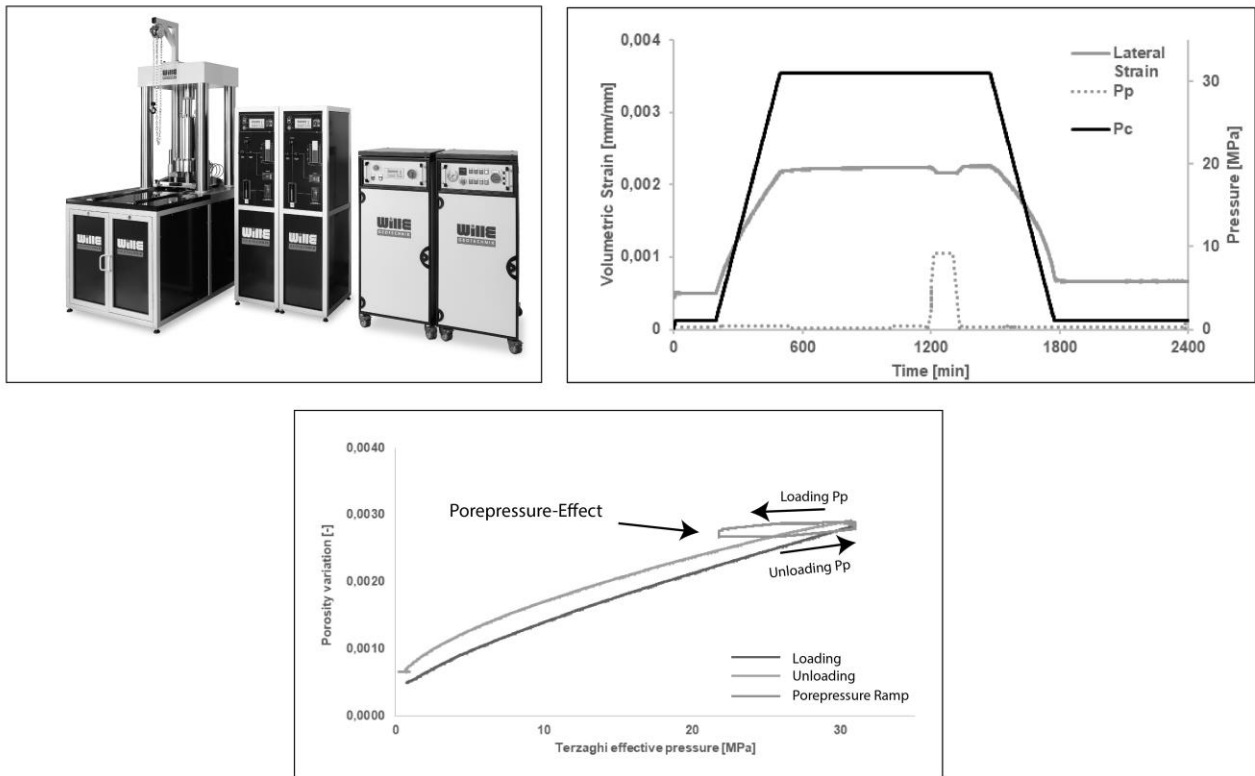


Abb 1: Links: Thermo-Triaxialprüfanlage. Rechts: Volumetrische Verformung des Prüfkörpers als Reaktion auf variierende Druckbedingungen. Unten: Untersuchung des Einflusses von Porendruckerhöhung auf die Porositätsveränderung des Prüfkörpers

Besonderes Augenmerk wird bei den Versuchen auf die Auswirkung der veränderten Druck- und Temperaturbedingungen auf die hydraulischen Parameter des Karbonatgesteins, sowie der elastischen Verformung der Gesteinsmatrix und der daraus resultierenden Veränderung des Porenraumgefüges gelegt. Ob rein elastische Verformung oder irreversible Veränderungen der Matrix durch Lösungs- und Fällungsprozesse oder mechanische bzw. thermische Prozesse auftreten, kann durch Verformungsmessungen während der Versuchsdurchführung (Abb. 1, rechts) und an Dünnschliffen der beprobten Prüfkörper im Nachhinein untersucht werden.

Eine herbeigeführte Veränderung des Porendrucks in einem Aquifer, z.B. durch Erhöhung des Injektionsdrucks (Abb. unten) oder Absenkung der Temperatur an der Injektionsbohrung einer geothermischen Dublette, kann sich ebenfalls durch nachhaltige Veränderungen auf das Aquifergestein (Poroelastik, Karbonatlösung) ausdrücken (Lafogler et al., 2016). Ergebnisse aus Laborversuchen können weiteren Aufschluss über sinkende Injektionsdrücke in Geothermieprojekten geben und ob diese durch die Beeinflussung von Lösungsprozessen oder rein über poroelastische Zusammenhänge zu erklären sind.

Literatur

Lafogler, M., Bartels, J., Wenderoth, F., Savvatis, A., Steiner, U., Schubert, A., Niessner, R. & Baumann, T. (2016): Quantifizierung der lokalen und Prognose der regionalen hydraulischen und hydrochemischen Reservoireigenschaften des Malmaquifers auf Basis eines Push-Pull-Tests am Standort Pullach (Puma): Schlussbericht.

Was können wir aus den Ergebnissen eines isotonen- und hydrochemisch begleiteten Langzeitpumpversuchs im Oberjura-Grundwasserleiter des Bayerischen Molassebeckens in Hinblick einer Reservoircharakterisierung lernen?

Florian Heine¹, Kai Zosseder¹, Florian Einsiedl¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

Kontakt: Florian.Heine@tum.de

Der Ausbau der Tiefengeothermie wird gerade im Bayerischen Molassebecken in den letzten Jahren stark vorangetrieben. Bei jedem Eingriff in das Grundwasser muss nach § 1 und § 8 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sichergestellt werden, dass das Grundwasser durch eine nachhaltige Gewässernutzung sowohl qualitativ als auch quantitativ geschützt bleibt. Daher ist u.a. eine kontinuierliche Untersuchung der Beschaffenheit des thermisch genutzten Grundwassers durch zum Teil aufwendige hydro- und isotonenchemische Messprogramme vorgeschrieben. Gerade bei bohrbegleitend auftretenden Spülungsverlusten oder Säurestimulationen in Vorbereitung einer niedergebrachten Geothermiebohrung müssen regelmäßige Untersuchungen stattfinden. Diese Maßnahmen werden in sogenannten Wasserrechtsbescheiden gefordert, deren Anforderungskatalog sich in der Vergangenheit in der Regel nach den Parameterlisten in Büttner et al. (2002) oder Büttner & Kolmer (2012) richten. Dort werden je nach Phase im Herstellungsprozess und Betrieb zwischen Basisuntersuchungen und Betriebsuntersuchungen unterschieden.

Mit den Erkenntnissen aus hydro- und isotonenchemischen Untersuchungen sowie der Hydraulik soll das Fließsystem im Oberjura im Rahmen des Forschungsprojektes „IsoMol“ im Großraum München sowie gesamtheitlich im Bayerischen Molassebecken betrachtet werden. Durch die Untersuchungen an ausgewählten Tiefengrundwässern sollen u.a. speziell durch Clusterbildung der hydro- und isotonenchemischen Beschaffenheit und Kombination mit hydraulischen Kenngrößen eine bessere Reservoircharakterisierung im Oberjura möglich werden.

Anhand der Ergebnisse eines hydro- und isotonenchemisch begleiteten Leistungspumpversuchs (ca. 108 Stunden) an einer neu abgeteufte Geothermiebohrung im Bayerischen Molassebecken wird die Belastbarkeit der 2. Basisuntersuchung in Hinblick auf die Interpretierbarkeit zur Reservoircharakterisierung untersucht. Hier wurden im Abstand von zwei Stunden kontinuierlich Wasserproben genommen und die physiko-chemischen Parameter spezifische elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert sowie die Kationen und Anionen, der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) und die stabilen Wasserisotope ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) bestimmt. Zusätzlich wurde eine Volluntersuchung nach ca. 88 Stunden im Rahmen der vorgeschriebenen 2. Basisuntersuchung (2. Spalte nach Büttner & Kolmer (2012)) durchgeführt.

Die Ergebnisse des Langzeitpumpversuchs werden im Kontext mit schon bestehenden Datensätzen anderer Geothermiebohrungen im Bayerischen Molassebecken interpretiert und die Aussagekraft der einzelnen Analysen in Hinblick auf die Reservoircharakterisierung eingeschätzt. Zudem wird untersucht, ob anhand der Kombination der hydraulischen und hydrochemisch-isotonenchemischen Auswertungen des Pumpversuchs eine Veränderung des Reservoirs bereits erkennbar ist und welche der analysierten wasserchemischen Parameter dafür zukünftig sinnvoll verwendet werden können.

Literatur

Büttner, W., Kneidinger, C., Roth, K., Samek, M., Überwimmer, F. & Vollhofer, O. (2002): Grundsatzpapiere zur Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. – Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Amt der Oö. Landesregierung (Hrsg.), 1-72; Linz, Wien, München.

Büttner, W. & Kolmer, C. (2012): Grundsatzpapiere zur Thermalwassernutzung im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken. – Amt der Oö. Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.), 1-94; Linz, Wien, Augsburg, München.

Implications of different fault zone appearances on pressure signals in pumping tests for a typical setting of the Upper Jurassic deep geothermal reservoir in the South German Molasse Basin

Florian Konrad¹, Kai Zosseder¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, TU München

Kontakt: florian.konrad@tum.de

After the drilling and completion operations of a new geothermal well are finished, up to three acidifications in conjunction with short airlift pumping tests (a few hours) are generally applied in the Upper Jurassic deep geothermal reservoir of the South German Molasse Basin (Malm aquifer). At a later stage of the construction this is normally followed by a longer pumping test (up to several days) in which the pressure evolution in the geothermal well for stepwise increasing pumping rates is recorded. Those investigations are really important because they reveal if the exploration strategy was successful and if so how the reservoir is performing as well as what its hydraulic properties are (Schneider and Thomas, 2012).

To investigate the collected pressure data modern techniques are applied, which originated from the oil industry. For the evaluation of pumping tests they get summarized under the term "pressure transient analysis" (PTA) (Houze et al., 2011). A core method in PTA is the derivative analysis also called the Bourdet Derivative (Bourdet et al., 1983, Bourdet et al., 1989). It allows for identification and quantification of well, reservoir and boundary models (Houze et al., 2011). Ideally the effect of a fault on the pressure evolution can be seen in the Bourdet Derivative by its slope in the early time region (linear flow). The Malm aquifer shows in practice only rarely evidence for a flow regime around a geothermal well dominated by faults (Schneider and Thomas, 2012). This doesn't imply that there are no hydraulically active faults anywhere else at exploration sites in this aquifer. On one hand technical effects (e.g. well bore storage, effects due to the used pumping technique, skin) can cloud the pressure signal in the early time region. But additionally a specific contrast between a fault and the aquifer matrix is needed for the system to actually show linear flow in a pumping test.

By performing parameter studies while observing the Bourdet Derivative the impact of possible fault zone and reservoir settings on pumping tests with respect to the Malm aquifer was investigated. Therefore a representative but simplified, three-dimensional, numerical box model (one 70 degree inclined fault surrounded by 500 meter thick aquifer matrix, one vertical well, 3000m depth of the reservoir top, 1000m fault length) was built using MeshIT (Blöcher and Cacace, 2013) and Paraview (Ahrens et al., 2005). By means of this box model multiple different hydraulic simulations of idealized pumping tests were executed. The simulation code MOOSE Framework (Gaston et al., 2009) with the complementary application GOLEM (Cacace and Jacquey, 2017) was used. The main parameters that were varied are the fault zone thickness, matrix and fault zone permeability as well as storage, distance between well and fault zone and production rates. To account for the variety of different parameter combinations a Monte Carlo analysis was realized by application of the RAVEN code (Alfonsi et al., 2017) on a HPC system (LRZ linux cluster).

References

- Ahrens, J., Geveci, B., & Law, C. (2005): ParaView: An End-User Tool for Large Data Visualization, Visualization Handbook. Elsevier.
- Alfonsi, A., Rabiti, C., Mandelli, D., Cogliati, J., Wang, C., Talbot, P.W., Maljovec, D.P., & Smith, C. (2017): RAVEN Theory Manual and User Guide. Idaho National Laboratory.
- Blöcher, G. & Cacace, M. (2013): MeshIt - A software for three dimensional geometric modelling of complex fractured geological systems. Computers and Geosciences.
- Bourdet, D., Ayoub, J., & Pirard, Y. (1989): Use of Pressure Derivative in Well Test Interpretation.
- Bourdet, D., Whittle, T., Douglas, A., & Pirard, Y. (1983): A new set of type curves simplifies well test analysis.
- Cacace, M. & Jacquey, A.B. (2017): Flexible parallel implicit modelling of coupled Thermal-Hydraulic-Mechanical processes in fractured rocks. Solid Earth Discussions, pages 1–33.
- Gaston, D., Newman, C., Hansen, G., and Lebrun-grandi'e, D. (2009): MOOSE: A parallel computational framework for coupled systems of nonlinear equations. In International Conference on Mathematics, Computational Methods & Reactor Physics (M&C 2009), volume 239, pages 1768–1778.

Houze, O., Viturat, D. & Fjaere, O.S. (2011): Dynamic Data Analysis. KAPPA.

Schneider, M. & Thomas, L. (2012): Verbundvorhaben: Wissenschaftliche und technische Grundlagen zur strukturellen und hydrogeologischen Charakterisierung tiefer geothermisch genutzter Grundwasserleiter am Beispiel des süddeutschen Molassebeckens. Endbericht–BMU Forschungsvorhaben, page 237.

P 3.5

Erstellung eines Hydrogeologischen Standortmodells im Bereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Otto Rüber¹, Stephan Kistinger²

¹ delta h Ing. GmbH, Parkweg 67, 58453 Witten

² Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52080 Aachen

Kontakt: or@delta-h.de

Vom zum damaligen Zeitpunkt für die Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle zuständigen Bundesamt für Strahlenschutz wurde die Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) beantragt. Teil der eingereichten Planunterlagen sind dichteabhängige Grundwassermodellrechnungen zur Ermittlung der Transportpfade und –zeiten potenzieller Radionuklidausträge im Fall eines langfristigen Volllaufens der Schachtanlage, einem ehemaligen Salzbergwerk, nach ihrem Verschluss.

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt erfolgt gegenwärtig die Prüfung des Antrags. Zur Überprüfung der Ergebnisse der vorgelegten Grundwassermodellrechnungen soll eine unabhängige Modellierung auf der Basis des aktuellen geologischen Kenntnisstandes erfolgen.

Inzwischen liegen die Neukartierung des Blatts 3732, Helmstedt, der GK25 von Sachsen-Anhalt sowie zusätzliche Profilschnitte vor. In der Komplexität der geologischen Strukturen gehen diese neuen Darstellungen deutlich über die früher genutzte Modellvorstellung hinaus. Daher wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt ein Geologisches Strukturmodells erstellt, das diese neue Darstellung der geologischen Situation berücksichtigt. Hierzu ergab sich die Notwendigkeit der Neukonstruktion aus den Daten der Geologischen Karte 1:25.000, aller vorliegenden Profilschnitte sowie der Bohrungsdaten.

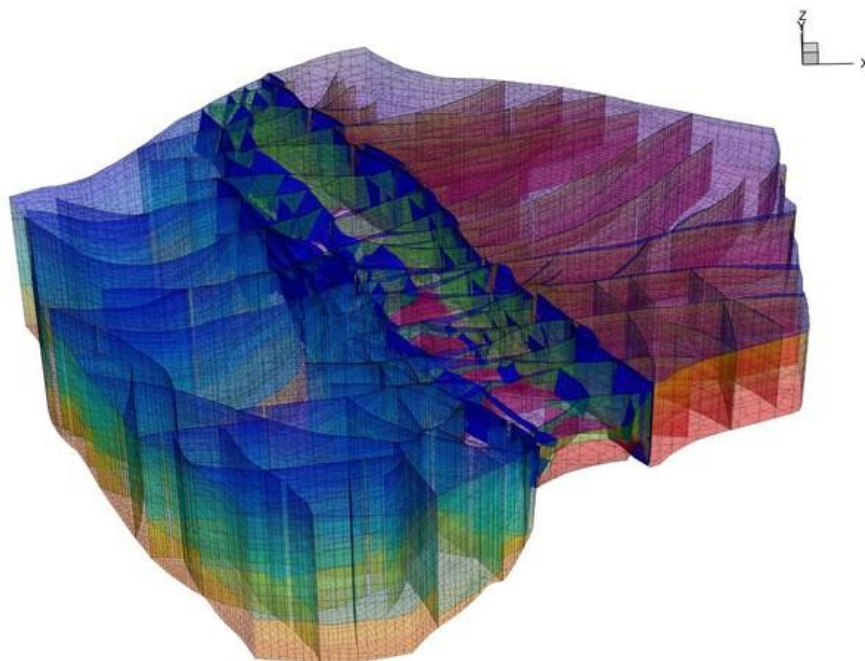


Abb. 1: 3D-Visualisierung des Strukturmodells mit transparenter Darstellung der Schichtflächen und deutlich erkennbarem Störungssystem.

Das Strukturmodell und das daraus entwickelte Standortmodell sollen dem Aufbau eines dreidimensionalen Grundwassermodells zur Durchführung alternativer dichteabhängiger Transportmodellrechnungen dienen. Mit diesen soll geprüft werden, ob Ausbreitungsszenarien unter den unterschiedlichen geologischen Modellvorstellungen vergleichbare oder signifikant unterschiedliche Resultate liefern.

Das vorgestellte Strukturmodell deckt eine Fläche von 64 km² ab und umfasst den Flächenverband aus hydrogeologisch relevanten Schicht- und Störungsflächen. Dargestellt werden die Grundlagen und der Aufbau des dreidimensionalen Strukturmodells.

P 3.6

Physical, chemical and biological processes controlling groundwater flow in geothermal reservoirs

Maren Brehme¹, Guido Blöcher¹, Simona Regenspurg¹, Peter Leary², Fatih Bulut³, Harald Milsch¹, Axel Sanden⁴, Floris Veeger⁴, Siklosi Istvan⁵, Robertas Valickas⁶, Sigita Petrauskas⁶

¹ Geothermische Energie Systeme, GFZ Potsdam

² Institute of Earth Science and Engineering, The University of Auckland, New Zealand

³ Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Geodesy Department, Bogazici University, Istanbul, Turkey

⁴ VEEGEO Geothermal Energy, 3032 AL Rotterdam, Netherlands

⁵ Mezőberény Város polgármestere, Mezőberény, 5650 Hungary

⁶ UAB GEOTERMA, LT-94100 Klaipėda, Lithuania

Kontakt: brehme@gfz-potsdam.de

Characterization of groundwater flow in geological media is essential to sustainably develop geothermal reservoirs. Groundwater flow in geological media occurs on grain scale in spatially correlated physical structures where few high permeable structures control the main flow volume. When these high permeable structures are clogged by small particles, fluid flow decreases very fast leading to negative commercial implications for the site. Clogging processes are often related to field operations or artificially intruded materials and can be of physical, chemical or biological nature. However, which processes are triggered by field operations, how the different processes interact and the subsequent implications on the reservoir are still insufficiently understood.

However, basic analysis of fluids and solids sampled at the site already explain fundamental controls on fluid flow in the reservoir. In this study we investigate a wide range of field data from different geothermal fields in Europe. The geothermal power plants are in different phases of operation, from drilling to operation.

Water, gas, core and filter residual samples have been analyzed with various methods and compared to historical data from each site. Results give information on rock structure, hydraulic properties, chemical composition and biological activity in rocks and fluids. Chemical processes observed are e.g. mineral precipitation and corrosion. Microbial activity causes biofilm while fines migration is caused by changes in physical conditions of the reservoir. Moreover, different processes can affect each other and trigger further reactions. At one site e.g. microbial activity triggers corrosion in surface pipelines.

We conclude that field data already allow to elaborate on subsurface processes. Especially the interaction of physical, chemical and biological processes is important to consider. Reasons for injectivity decline should be understood at an early stage to avoid long-term reservoir degradation.

4 Geothermische Nutzung im Grundwasser: Auswirkungen, Qualitätssicherung, neue Techniken

Vorträge

O 4.1: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 11:30-11:45

Geothermische Wärmespeicher ohne nachteilige Veränderung der Grundwasserqualität - Chance oder Konfliktfeld bei der Energiewende?

Florian Ludwig¹, Uwe Hiester¹, Volker Jungk², Claus Nitsche³, Dieter Poetke³

¹ reconsite GmbH, Fellbach

² Jungk Consult GmbH, Berlin

³ BGD ECOSAX GmbH, Dresden

Kontakt: florian.ludwig@reconsite.com

Zum Erreichen der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung und dem damit verbundenen Ausbau der erneuerbaren Energien wird künftig in größerem Umfang auch die thermische Nutzung des Untergrunds erforderlich sein. Hierbei stellen geothermische Energie- bzw. Wärmespeicher unterschiedlicher Größe und Lage einen wichtigen Baustein dar.

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) regelt den Schutz des Grundwassers und räumt der wasserwirtschaftlichen Nutzung des Grundwassers für die öffentliche Wasserversorgung, insbesondere der Trinkwassergewinnung, Vorrang vor anderen Nutzungen ein. Oberflächennahe Grundwasserleiter haben jedoch ein großes Wärmespeicherpotenzial und können so einen wesentlichen Beitrag für saisonale Puffersysteme, zur Gebäudekühlung und für die Speicherung von Überschussstrom (Power-to-heat) leisten. Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Nutzungen oberflächennaher Grundwasserleiter ist eine nachhaltige, vorausschauende und vorsorgende Planung geothermischer Nutzungen erforderlich, bei der Nutzungskonflikte mit der Wasserwirtschaft weitgehend vermieden werden.

Im Rahmen eines laufenden Forschungs- und Entwicklungsvorhabens des Umweltbundesamtes werden die potenziellen Auswirkungen eines "thermischen Impacts" auf das Grundwasser eruiert, diskutiert und bewertet. Hierbei stehen insbesondere Veränderungen in natürlichen, in thermisch vorbelasteten (z. B. urbane Wärmeinseln) sowie in mit Schadstoffen kontaminierten Grundwasserleitern im Mittelpunkt.

In der Genehmigungspraxis ist sicher zu stellen, dass eine geothermische Nutzung des Untergrunds keine nachteilige Beeinträchtigung der Grundwasserqualität und insbesondere der Trinkwasserversorgung darstellt. Hierzu werden der Einfluss einer thermischen Veränderung auf die Grundwasserqualität wie die physikochemische Beschaffenheit des Grundwassers und das Ökosystem Grundwasser evaluiert, quantifiziert und differenziert bewertet. Ziel ist die Ableitung von Grenzkriterien, zum Beispiel als thermische Geringfügigkeitsschwellen, bei denen eine thermische Veränderung noch keine nachteilige Grundwasserveränderung bewirkt bzw. unterhalb derer Veränderungen als tolerabel eingestuft werden können.

Die Ergebnisse sollen der Umweltbewertung von geothermischen Wärmespeichern dienen und als Handlungsempfehlung den Vollzugsbehörden und Planern Bewertungshilfen liefern. Bei den Handlungsempfehlungen werden neben dem WHG konzeptionelle Ansätze aus benachbarten Gesetzesbereichen wie dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG), der Grundwasserverordnung (GrwV), den Regelwerken der LAWA (Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS)), dem Bundesberggesetz (BBergG) sowie technischen Regelwerken (z.B. VDI 4640) auf ihre Übertragbarkeit auf die Genehmigung geothermischer Speicher hin geprüft.

Im Vortrag werden erste Erkenntnisse aus dem laufenden Projekt vorgestellt und Ausblicke auf eine Entscheidungshilfe zur Bewertung des thermischen Impacts auf die Grundwasserqualität gegeben.

O 4.2: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 11:45-12:00

Ergebnisse des Monitorings von großen geothermischen Anlagen im Vergleich zur Planung

Sven Rumohr¹

¹ *Dezernat Hydrogeologie, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie*

Kontakt: sven.rumohr@hlnug.hessen.de

Die fachbehördliche Begleitung von Genehmigungsverfahren für geothermische Anlagen sowie anschließender Monitoringprogramme zeigt, dass geothermische Anlagen häufig anders betrieben werden als sie geplant, beantragt oder genehmigt wurden. Folgende Sachverhalte sind festzustellen:

Ein großer Kühlbedarf besteht nahezu ausschließlich bei gewerblich oder öffentlich genutzten Gebäuden. Der reale Wärme- und Kühlbedarf weicht regelmäßig von Planung, Antrag und Zulassung ab. Der Kühlbedarf wird regelmäßig unterschätzt, der Heizbedarf eher überschätzt.

Nur durch ein thermisches Monitoring kann die Behörde sicherstellen, dass die Auswirkungen eines Anlagenbetriebs im erwarteten bzw. genehmigten Rahmen liegen.

Bisher wird ein thermisches Monitoring zu selten gefordert. Wenn die Behörde ein Monitoring fordert, muss sie die vorgelegten Daten auch auswerten. Monitoringprogramme werden sehr unterschiedlich durchgeführt – eine Vereinheitlichung erscheint sinnvoll.

Sinnvoll erscheint, nicht nur ein Monitoring zu fordern, sondern auch eine betreiberseitige Aus- und Bewertung der erhobenen Daten im Hinblick auf die Zulassung (z. B. Temperaturgrenzen).

Das thermische Monitoring ist fehleranfällig: Sensoren (Temperatur, Durchfluss) bzw. Wärmemengenzähler fallen nach bisherigen Erfahrungen immer wieder aus.

O 4.3: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 12:00-12:15

Numerische Simulationen des Ausbreitungsverhaltens von Wärmeträgerfluid-Inhaltsstoffen im Grundwasser für den Fall einer Erdwärmesonden-Leckage

Janine Struß¹, Dirk Schäfer¹, Andreas Dahmke¹, Ralf Köber¹

¹ *Angewandte Geologie, Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*

Kontakt: janine.struss@ifg.uni-kiel.de

Im Rahmen der Energiewende und angesichts des steigenden Wärmebedarfs urbaner Räume gewinnen eine nachhaltige Wärmeversorgung und saisonale Wärmespeicherung im geologischen Untergrund zunehmend an Bedeutung. Eine effiziente Nutzung des Untergrundes zur Wärmeengewinnung und –speicherung ist mithilfe von Erdwärmesonden möglich, die jedoch aus Gründen des vorbeugenden Grundwasserschutzes erst in einem Umkreis von mehr als 1000 m um eine Trinkwassergewinnungsanlage bzw. ab der Wasserschutzzone IIIB je nach den Richtlinien der Bundesländer genehmigungsfähig sein können. Um im Fall einer Leckage eine Grundwasser- und Bodenverschmutzung zu vermeiden oder möglichst gering zu halten, sollten Wärmeträgerfluide in Eigenschaften und Konzentration so gewählt werden, dass diese nicht wassergefährdend sind. Bisher erfolgten zwar Einschätzungen zum Gefährdungspotential von Wärmeträgerfluiden hinsichtlich ihrer Einsatzhäufigkeit und ihres Umweltverhaltens, jedoch keine Konkretisierung in Bezug auf die räumliche und zeitliche Ausbreitung. Das Ziel dieser Arbeit war es daher, anhand von numerischen Simulationen das Ausbreitungsverhalten von gängigen Wärmeträgerfluid-Inhaltsstoffen unter Betrachtung der Auswirkungen von Verdünnung und Abbauprozessen auf die Konzentrationsverläufe in einem Trinkwasserentnahmebrunnen zur Bewertung der Relevanz von Erdwärmesonden-Leckagen zu quantifizieren.

Dazu wurde anhand von exemplarischen Modellsimulationen die Ausbreitung von häufig verwendeten Wärmeträgerfluid-Inhaltsstoffen unter verschiedenen Redoxbedingungen, sowie vergleichsweise auch zum konservativen Transport untersucht. Das Modell bildet häufig auftretende Randbedingungen eines norddeutschen Aquifers ab, wozu ein Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-4}$ m/s, ein effektiver Porenanteil von 20 % und ein natürlicher hydraulischer Gradient von $2 \cdot 10^{-3}$ gewählt wurde. Die Trinkwasserentnahme erfolgte mit einer Gesamtentnahmerate von 1.000.000 m³/a über drei Brunnen. Für die Erdwärmesonden-Leckage wurde ein Worst-Case-Szenario angenommen, bei dem die gesamte Wärmeträgerfluidmenge von 212 L mit einer Leckagerate von 200 mL/h aus einer 100 m langen Doppel-U-Rohr-Sonde austritt.

Die numerischen Simulationen zeigten, dass die Maximalkonzentrationen im Brunnen bereits bei konservativem Transport und einem Abstand von nur 100 m zwischen Erdwärmesonde und Trinkwasserbrunnen aufgrund des hohen Verdünnungseffektes bei den meisten gebräuchlichen Wärmeträgerfluid-Inhaltsstoffen mit einem Faktor >10 und unter Berücksichtigung von Redoxprozessen größtenteils mit einem Faktor > 30 unterhalb von Geringfügigkeitschwellenwerten bzw. predicted no effect concentrations (PNEC) lagen.

Anerkennung: Die präsentierte Arbeit ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten ANGUS+ Projektes (03EK3022A).

O 4.4: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 12:15-12:30

Prognostizierbarkeit hydrochemischer Auswirkungen oberflächennaher Wärmespeicherung

Klas Lüders¹, Andreas Dahmke¹, Ralf Köber¹

¹ Angewandte Geologie - Aquatische Geochemie und Hydrogeologie, Institut für Geowissenschaften - CAU Kiel

Kontakt: klas.lueders@ifg.uni-kiel.de

Im Zusammenhang der oberflächennahen Wärmespeicherung auftretende hydrochemische Prozesse können potentiell Auswirkungen auf die Speichereffizienz und die Grundwasserqualität haben. Das Ziel der hier vorgestellten Arbeiten lag in der Optimierung und Bewertung experimenteller Untersuchungsmethoden und hydrochemischer Modellrechnungen hinsichtlich der Eignung zur standortspezifischen Prognostizierung möglicher Gasphasenbildung, der Freisetzung und Festlegung von Schwermetallen und Spurenelementen (SM/SE), der Beeinflussung von Redoxprozessen sowie von Minerallösungs- und Fällungsprozessen. Hierzu wurden Schüttelversuchen, Durchfluss- und Kreislaufsäulenversuchen mit tertiären und quartären Sanden auf jeweils 10, 25, 40 und 70°C temperiert, sowie Festphasenuntersuchungen (u.A. Vollaufschlüsse) und hydrochemische Modellrechnungen durchgeführt und auf Vergleichbarkeit der Ergebnisse überprüft. Dafür wurden in den experimentellen Arbeiten Gasphasenbildungsraten, gelöste Konzentrationen 20 relevanter SM/SE sowie pH, Eh, O₂ und Konzentrationen von (an)organischem Kohlenstoff, sowie Hauptkat- und Anionen bestimmt.

Eine Aufheizung von Durchflusssäulenversuchen auf 25, 40 und 70°C führte jeweils zu Gasphasenbildungsraten von 0-1, 1-4 und 8-19 mL(Gas)/L(Grundwasser). Diese Raten konnten in 5 von 6 Säulenversuchen mit auf thermodynamischen Daten basierenden hydrochemischen Berechnungen mit einem Unsicherheitsfaktor <2 abgeschätzt werden, wobei die Abweichung zwischen gemessener und berechneter Gasphasenbildungsrate bei 70°C <2,5 % war. Ob Arsen (Bsp. für SM/SE) bereits bei 25, 40 oder 70°C bis zum Trinkwassergrenzwert (10 µg/L) freigesetzt wird, konnte mit Kreislaufsäulenversuchen bereits innerhalb einer Versuchslaufzeit von 2 Wochen sedimentspezifisch festgestellt werden. Eine anschließende einwöchige Rückkühlung der Versuche auf 10°C zeigte für die Arsenfreisetzung eine durchschnittliche Reversibilität von 67 %. Veränderungen in den Redoxbedingungen traten in Durchflusssäulenversuchen mit Sediment-Wasser-Kontaktzeiten von 36 Stunden nur sporadisch auf, in Kreislaufsäulenversuchen mit andauerndem Sediment-Wasser-Kontakt (insgesamt ~1 Monat) stellten sich hingegen innerhalb der ersten 1-4 Wochen bei allen verwendeten Sedimenten reduzierendere Bedingungen ein. Die in Durchflusssäulenversuchen beobachtete Karbonatfällung ließ sich mit Schüttelversuchen qualitativ reproduzieren und in hydrochemischen Modellrechnungen quantitativ abschätzen.

Wie hier an einzelnen Beispielen dargelegt, besteht durch eine geeignete Kombination experimenteller Laborarbeiten und Modellrechnungen die Möglichkeit, die relevanten hydrochemischen Auswirkungen einer Wärmespeicherung in

oberflächennahen Aquiferen standortspezifisch in praktikablen Zeiträumen zu prognostizieren, wodurch nutzbare Temperaturbereiche eingegrenzt oder Gefährdungen gegebenenfalls ausgeschlossen werden können.

Die präsentierte Arbeit ist Teil der Angus-Projekte (Angus+: BMBF, 03EK3022A; Angus II: BMWi, 03ET6122A).

O 4.5: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 12:30-12:45

Frostfreier Betrieb von Erdwärmesonden

Giulia Giannelli¹, Braun Juergen¹

¹ IWS - VEGAS, Universität Stuttgart

Kontakt: Giulia.Giannelli@iws.uni-stuttgart.de

Oberflächennahe Geothermie zeichnet sich dadurch aus, dass sie den hohen Energiebedarf der Privathaushalte (Warmwasser, Raumwärme) während des gesamten Jahres gewährleisten kann. Der Geothermiebetrieb ist jedoch nicht frei von potenziellen Umweltauswirkungen, die daher berücksichtigt werden müssen, um eine nachhaltige und effiziente Nutzung zu erreichen.

Eine sorgfältige Abdichtung des Bohrlochs gegen den anstehenden Untergrund (poröses Medium) mit geeignetem Hinterfüllmaterial ist Stand der Technik und muss bei allen erdenklichen Betriebsszenarien sichergestellt werden. Ziel ist es, einen hydraulischen Kurzschluss von Grundwasserleitern zu vermeiden, der zur Verlagerung von Schadstoffen oder zur Drainage von Aquiferen führen könnte.

Erdwärmesonden (EWS) werden oft aus ökonomischen Gründen mit einem Glykol-Wasser-Gemisch unter 0° C betrieben. Dies kann jedoch potentiell zu Frost-Tau-Wechsel während des Betriebs und somit zu Beschädigungen des EWS-Hinterfüllmaterials und des umgebenden porösen Mediums führen.

Der Einfluss der Frostwirkung auf das Hinterfüllmaterial von Erdwärmesonden wurde in mehreren Studien untersucht (Müller 2009; Anbergen et al., 2014). Die detailliertesten Untersuchungen wurden von Reuss et al. (2012) durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Frostbildung und vor allem der erste Frost-Tau-Wechsel zu einer deutlichen Erhöhung der Systemdurchlässigkeit führen kann. Die Auswirkungen des Betriebs einer Erdwärmesonde im Frostbereich auf die Durchlässigkeit des anstehenden porösen Medium (Nahfeld der Sonde) wurden bisher nicht untersucht.

Um eine mögliche Frostbildung in einer EWS zu vermeiden, ist die minimale Eintrittstemperatur der EWS in den „Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden“ (LQS EWS 2015) in Baden-Württemberg auf minus 3° C beschränkt. Diese nach empirischen Erfahrungswerten definierte Minimaltemperatur wurde im Rahmen eines vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg geförderten Forschungsvorhabens eingehend im Großmaßstab bei VEGAS experimentell untersucht.

Die Ergebnisse der großskaligen Versuche zeigen, dass die aktuell verwendete minus 3° C-Regel für diese spezifischen Randbedingungen an der Grenze zwischen frostsicher und nicht frostsicher liegt. Es wurden verschiedenste Lastszenarien untersucht und bewertet. Obwohl es trotz des großskaligen Experiments nicht möglich war, die Randbedingungen so nachzustellen, dass sie das Worst-Case-Szenario repräsentieren, das im Feld stattfinden kann, sind die erhaltenen Ergebnisse und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Parametern signifikant. Diese Präsentation wird die Ergebnisse der großskaligen Versuche zusammenfassen um ihre Übertragbarkeit auf die tatsächliche Feldsituation zu diskutieren.

Literatur

Reuß, M. et al. (2012): „Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden und Erdreichkollektoren“, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), FKZ 0327453A

Anbergen, H., Frank, J., Müller, L. & Sass, I. (2014): Freeze-Thaw-Cycles on Borehole Heat Exchanger Grouts: Impact on the Hydraulic Properties, Geotechnical Testing Journal 37, Issue 4.

Müller, L. (2009): Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von Hinterfüllbaustoffen für Erdwärmesonden; in: bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau; Ausgabe 07-08/2009; wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH; Bonn

3D-Modellierung des Wärmetransports in einem seichtliegenden Grundwasserleiter in Österreich

Hans Kupfersberger¹, Gerhard Rock¹

¹ JR-AquaConSol GmbH

Kontakt: hans.kupfersberger@jr-aquaconsol.at

Für einen seichtliegenden regionalen Grundwasserleiter (45 km²) in Südostösterreich wurde der 3D Wärmetransport im Zeitraum 1993 - 2015 modelliert. Bei der oberen thermischen Randbedingung wurde zwischen unterschiedlichen Landnutzungen differenziert. Die oberflächennahe Bodentemperatur wurde über eine Regressionsbeziehung aus der Lufttemperatur abgeleitet, welche in Kupfersberger et al. (2017) im Detail beschrieben ist. Der Wärmeaustausch von Einbauten (beheizte Keller, Abwasserleitungen) mit dem Untergrund wurde mit dem 1D vertikalen Wärmekonduktionsmodul SoilTemp (Kupfersberger et al., 2017) berechnet. SoilTemp wurde mit dem Wärmetransportmodell FEFLOW auf Zeitschritzebene gekoppelt, indem Grundwasserspiegel und -temperatur bzw. der Wärmefluss als jeweilige Randbedingungen zwischen den beiden Modellen flächendifferenziert ausgetauscht werden.

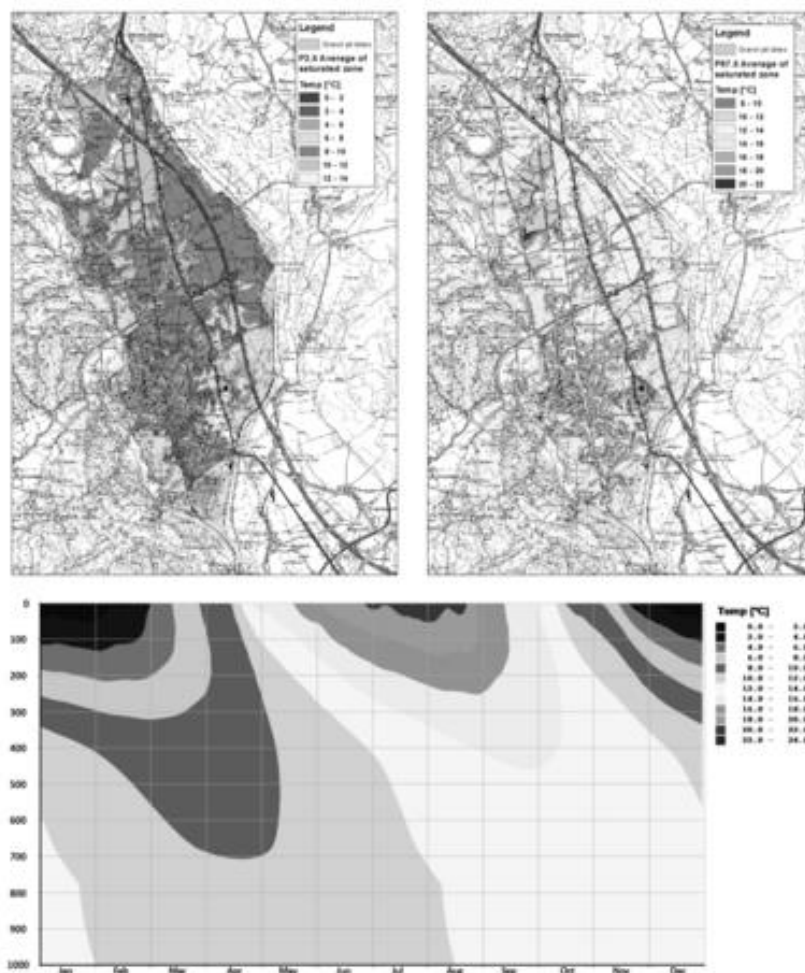


Abb. 1: Verteilung der 2,5% Perzentile (Grafik links oben) und der 97,5% Perzentile (Grafik rechts oben) der Grundwassertemperaturen im Aquifer westliches Leibnitzer Feld sowie gemittelter Zeit-Tiefen Diagramm der Grundwassertemperatur an der Messstelle Wagna (untere Grafik)

Die Anpassung zwischen gemessenen und berechneten Grundwassertemperaturganglinien an 11 Messstellen im Zuge der Modellkalibration ergab NSE-Werte zwischen 0,41 und 0,92. Die konstante Verwendung der jetzigen Landnutzung während der gesamten Simulationsperiode führt nicht zu einer nachteiligen Beeinflussung der Modellqualität. Die Auswertung der Verteilung der 3D Grundwassertemperaturen wurde in Form von (i) über die Tiefe gemittelten

Grundwassertemperaturen zu einem bestimmten Stichtag oder zu einem konkreten statistischen Zustand, (ii) Zeit-Tiefen Diagrammen für Punkte von Interesse und (iii) Zeit-Tiefen Diagrammen für ein repräsentatives Jahr (gemittelt über den gesamten Simulationszeitraum) durchgeführt. Aufgrund der seichten Lage des Aquifers stellt sich eine tiefenabhängige Änderung der Grundwassertemperatur ein. Man kann deutlich zwischen Aquiferregionen unterscheiden, in denen der Flurabstand bzw. die Landnutzung überwiegend die Grundwassertemperaturen bestimmen. Die typische Nutzung einer Grundwasserwärmepumpe (d.h. Kühlung im Sommer bzw. Heizung im Winter) verstärkt die vertikale Verteilung der Grundwassertemperaturen. Zwischen dem bestmöglichen thermischen Potential des Grundwasserleiters und dem anthropogenen Nutzungsbedarf besteht ein mehrmonatiger Versatz. Im Bereich der Stadt Leibnitz lässt sich wegen der geringen Einwohnerzahl (12.000) keine Zunahme der Grundwassertemperatur feststellen.

Somit wurde für Verwaltung und Planer ein Managementinstrument geschaffen, um (i) das geothermische Nutzungspotential eines Grundwasserleiters zu evaluieren, (ii) die Auswirkungen von anthropogenen Nutzungen auf die Grundwassertemperaturen zu prognostizieren, (iii) Gunst- und Verbotszonen für geothermische Nutzungen auszuweisen sowie (iv) die Positionierung von anthropogenen Nutzungen zu optimieren. Im Sinne einer konservativen Bewertung empfehlen wir für die Beurteilung von Kühlzwecken die Verwendung der 97,5 % Perzentile und von Heizzwecken die 2,5 % Perzentile der Grundwassertemperaturen.

Literatur

Kupfersberger, H., Rock, G. & Draxler, J.C. (2017): Inferring near surface soil temperature time series from different land uses to quantify the variation of heat fluxes into a shallow aquifer in Austria. *J. Hydrol.* 552, 564-577. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.030>

O 4.7: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 14:15-14:30

Grundwasserzirkulationsbrunnen zur Geothermischen Nutzung und deren Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit

Eva Dinkel¹, Burga Braun², Josephin Schröder², Winfried Reul³, Moritz Muhrbeck³, Alexander Meeder³, Ulrich Szewzyk², Traugott Scheytt¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Berlin

² Fachgebiet Umweltmikrobiologie, Technische Universität Berlin

³ Geo-En Energy Technologies GmbH, Berlin

Kontakt: eva.dinkel@tu-berlin.de

Grundwasserzirkulationsbrunnen sind bisher vor allem für ihre Nutzung zu Sanierungszwecken bekannt (Mohrlok et al, 2002). Mittlerweile finden sie Anwendung als offenes, oberflächennahes Geothermiesystem zum Heizen und Kühlen von Gebäuden. Sie eignen sich insbesondere für eng bebaute Gebiete, bei denen der Platzbedarf für ein Dublettensystem nicht ausreicht. Dublettensysteme und deren Auswirkungen auf das Grundwasser wurden bereits in zahlreichen Publikationen beschrieben (u.a. Bonte et al., 2013, Possemiers et al., 2016). Grundwasserzirkulationssysteme hingegen sind weitaus geringer verbreitet als Dublettensysteme, da umfangreiche, wissenschaftliche Begleituntersuchungen zu ihren Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit bislang fehlen. Das Forschungsprojekt „Hocheffiziente Nutzung geothermischer Energie: Die Integralsonde II“ (01LY1507B / BMBF „KMU-innovativ“) soll dazu beitragen, die Lücke an offenen wissenschaftlichen Fragestellungen zu schließen.

In einem Grundwasserzirkulationsbrunnen (GZB) liegen Vor- und Rücklauf vertikal übereinander im gleichen Bohrloch in verschiedenen Tiefen und sind hydraulisch voneinander getrennt. Über den Vorlauf wird Grundwasser zur Wärmepumpe gepumpt und im Heizbetrieb wird dem Wasser Wärme entzogen. Dieses abgekühlte Wasser wird über den Rücklauf wieder in den Grundwasserleiter injiziert. Bei Kühlbetrieb wird dementsprechend erwärmtes Grundwasser wieder eingeleitet. Die bisher vorgegebene maximale Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf beträgt in Berlin 3 Kelvin.

Um Verockerungen, Mineralausfällungen und –lösung, Partikelmobilisierung, Ausgasung und Ausflockungen vorzubeugen, ist es äußerst wichtig, die Vermischung von Redoxzonen im Grundwasser zu verhindern. Hohe Gehalte an gelöstem Eisen und Mangan werden gewöhnlich als Ausschlusskriterien für die Errichtung offener Geothermiesysteme

me angesehen, da eine erhöhte Verockerungswahrscheinlichkeit vorliegt. GZB könnten eine geeignete Technik darstellen, um die Vermischung von Redoxzonen zu verhindern und damit Standorte, die bisher als ungeeignet für die Nutzung offener Systeme galten, nutzbar zu machen.

Die Ergebnisse unserer bisherigen Untersuchungen zeigen, dass Redoxzonen im Bereich eines neu errichteten GZB durch den getakteten Betrieb nicht verändert werden. Ununterbrochenes Pumpen über mehrere Tage bis zu Wochen verändert jedoch die bakterielle Zusammensetzung im geförderten Wasser. Inwiefern dies zu Leistungseinbußen des Systems führen kann, muss jedoch noch an weiteren Standorten und über einen längeren Zeitraum hinweg untersucht werden.

Literatur

Mohrlok, U., Weber, O., Jirka, G.H. & Scholz, M. (2002): Grundwasser-Zirkulations-Brunnen (GZB) zur In-Situ-Grundwassersanierung. – In: Grundwasser, 1/2003, 13-22; Heidelberg.

Bonte, M., van Breukelen, B.M. & Stuyfzand, P.J. (2013): Environmental impacts of aquifer thermal energy storage investigated by field and laboratory experiments. Journal of Water and Climate Change, 4(2), 77-89; London.

Possemiers, M., Huysmans, M., Anibas, C., Batelaan, O. & van Steenwinkel, J. (2016): Reactive transport modeling of redox processes to assess $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipitation around aquifer thermal energy storage wells in phreatic aquifers. Environmental Earth Sciences, 75(8), 1-17, Heidelberg.

O 4.8: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 14:30-14:45

Voruntersuchungen zur Einspeicherung von Wärme (ATES) in einen oberflächennahen Aquifer im nördlichen Oberrheingraben

Simon Ritter¹, Margot Isenbeck-Schröter¹, Waseem Khan¹, Lukas Bauer¹, Christian Scholz¹, Erhard Metzler²

¹ Institut für Geowissenschaften, Universität Heidelberg

² Stadtwerke Hockenheim

Kontakt: margot.isenbeck@geow.uni-heidelberg.de

Im Rahmen des Verbundvorhabens GeoSpeicher.bw wird die Errichtung eines ATES-Systems (engl. für Aquifer Thermal Energy Storage) in einem Freizeitbad im nördlichen Oberrheingraben mit umfassenden Voruntersuchungen wissenschaftlich begleitet. Große Mengen überschüssiger Wärme aus dem Betrieb des Erlebnisbads sollen zur saisonalen Nutzung in den oberflächennahen Grundwasserleiter (<20 m Tiefe) mit Wassertemperaturen von ca. 30 °C eingespeist werden. In Abhängigkeit hydrogeochemischer Gegebenheiten ist mit thermischen Einflüssen auf die Lösungs- und Fällungsprozesse der Hauptminerale, vor allem der Karbonate und Silikate, auf den Umsatz von organischem Kohlenstoff und auf die Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulationen im Grundwasserleiter zu rechnen (Bonte et al., 2013). Diese Einflüsse sollen durch eingehende Betrachtung der Hydrogeochemie am Standort Hockenheim, des Aquifermaterials und experimentell durch Säulenversuche nachvollzogen werden. Die Hydrogeochemie wurde durch drei bereits vorhandene flache Grundwasserbeobachtungspegel und elf Direct-Push-Bohrungen mit einer tiefenzonierten Wasserprobenahme (< 15 m Tiefe) charakterisiert. Die anoxischen Ca-SO_4 -dominierten Wässer mit erhöhten Konzentrationen von Eisen und Mangan deuten darauf hin, dass Pyritoxidation und Karbonatlösungs- und Fällungsreaktionen das geochemische Milieu dominieren. Zusätzlich konnte durch die horizontalen Direct-Push-Bohrungen der bereits vorhandene thermische Einfluss des Schwimmbadgebäudekomplexes auf die Grundwassertemperaturen beobachtet werden. Erhöhte Temperaturen im Grundwasserabstrom des Gebäudes von bis zu 16 °C und direkt unterhalb des Gebäudes von bis zu 23 °C zeigen eine deutliche thermische Beeinflussung des oberflächennahen Aquifers. Ein fortschreitendes monatliches Monitoring der GW-Temperaturen an vorhandenen und neu installierten Beobachtungspegeln wird weitere Erkenntnisse zur saisonalen Entwicklung der Aquifer-Temperaturen und zu dem thermischen Einfluss des Gebäudes liefern. In momentan laufenden Säulendurchflussversuchen mit Aquifermaterial vom Standort wird der thermische Einfluss auf die Hydrogeochemie untersucht und quantifiziert.

Literatur

Bonte, M., Ro, W.F.M., Zaura, E., van der Wielen, P.W.J.J., Stuyfzand, P.J. & van Breukelen, B.M. (2013): Impacts of Shallow Geothermal Energy Production on Redox Processes and Microbial Communities. Environ. Sci. Technol. 47, 14476–14484.

Potentialanalyse des Grundwassers für thermische Nutzungen

Cornelia Steiner¹, Gregor Götzl¹, Martin Fuchsluger¹

¹ Fachbereich Hydrogeologie und Geothermie, Geologische Bundesanstalt

Kontakt: cornelia.steiner@geologie.ac.at

Im Rahmen einer Förderung des EU Interreg Programms Central Europe wurde im Projekt GeoPLASMA-CE („Shallow Geothermal Energy Planning, Assessment and Mapping Strategies in Central Europe“) eine harmonisierte Methode für die Berechnung des geothermischen Potentials von Grundwasserwärmepumpen (GWWP) entwickelt. Angewendet wird die Methodik in ausgewählten Pilotgebieten der teilnehmenden Länder Deutschland, Österreich, Polen, Slowakei, Slowenien und Tschechien. Aufbauend auf die somit erstellten Potentialkarten werden moderne Planungs- und Bewirtschaftungskonzepte für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie erarbeitet.

Das geothermische Potential für GWWP ist maßgeblich von Verfügbarkeit und Temperatur des Grundwassers sowie von der Betriebsweise der Anlage abhängig, wobei gesetzliche Vorgaben die nutzbare Temperaturspreizung beeinflussen. Dementsprechend wurden folgende Parameter als Potentialanzeiger für GWWP identifiziert, die auf den Ergebniskarten im GeoPLASMA-CE Webportal (www.geoplasma-ce.eu) veröffentlicht werden:

1. Aquiferbegrenzung: Gebiet mit einer generellen Grundwasserverfügbarkeit.
2. Thermische Produktivität: Grundwassertemperatur [$^{\circ}\text{C}$] und verfügbare Temperaturspreizung pro Berechnungsfläche [K].
3. Energieinhalt: Verfügbare Energie für ausgeglichene und einseitige Nutzung pro Berechnungsfläche [$\text{MWh/Flächeneinheit/Jahr}$].

Der jährlich zur Verfügung stehende Energieinhalt für eine ausgeglichene Nutzung (Heizen und Kühlen) stellt die im gesättigten Aquifer gespeicherte Energie dar. Für die einseitige Nutzung (Heizen oder Kühlen) wird der durch die Temperaturänderung im Aquifer entstehende Wärmefluss von der Oberfläche und von den unterlagernden geologischen Einheiten berücksichtigt.

4. Hydraulische Produktivität: Maximal verfügbare Brunnenleistung für Grund- und Spitzenlast im Aquifer [m^3/s].
5. Thermische Leistung: Maximal verfügbare thermische Leistung für Grund- und Spitzenlast pro Berechnungsfläche [MW/Flächeneinheit]

Die Methode ist hierarchisch aufgebaut, so dass die jeweils erst genannten Parameter die Basis für die analytischen Berechnungen der höher gereihten Parameter darstellen (siehe Abbildung 1). Die Berechnungen können abschnittsweise auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Datenverfügbarkeit in den Pilotgebieten adaptiert werden. Als Berechnungsfläche werden je nach Pilotgebiet entweder Rasterzellen, Stadtteile oder hydrogeologische Einheiten gewählt.

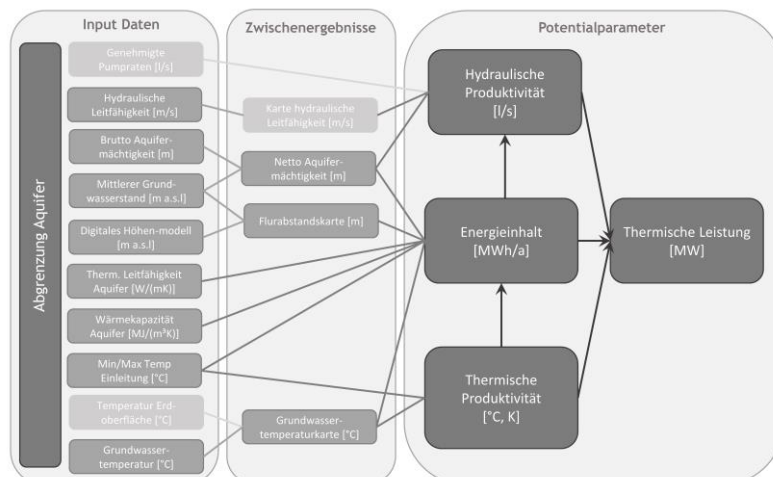


Abb. 1: Allgemeiner Ablauf zur Bestimmung der Potentialparameter für Grundwasserwärmepumpen

Eine Validierung der Methode erfolgte bereits für das Pilotgebiet Wien anhand einer numerischen Modellierung mit der Software FEFLOW™. Durch die Gegenüberstellung der verfügbaren Gesamtenergie für 20 Jahre aus den analytischen Berechnungen mit der Simulation konnte neben einer ersten Abschätzung zur Genauigkeit der Methode auch ein Gewinnungsfaktor von rund 0.8 bestimmt werden. Bei einer Integration des Gewinnungsfaktors in die Potentialberechnung können so Summationseffekte, die durch eine gegenseitige Beeinflussung von Nutzungen entstehen, berücksichtigt werden.

O 4.10: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 15:00-15:15

Thermische Nutzung von U-Bahn-Infrastruktur in München

Mischa Schweingruber¹, Immanuel Pache², Kai Zosseder³

¹ ERDWERK GmbH

² Stadtwerke München

³ Technische Universität München

Kontakt: schweingruber@erdwerk.com

Die Stadtwerke München bieten ihren Kunden unter anderem die Bereitstellung von Fernkälte an. Während die Fernwärme in München zunehmend aus Tiefengeothermie gewonnen wird, stehen für die Fernkälte verschiedene Quellen zur Verfügung. Eine davon ist oberflächennahes Grundwasser aus der quartären Münchner Schotterebene. Unter anderem wird dafür auf vorhandene U-Bahn-Infrastruktur zurückgegriffen: Um unerwünschtes Aufstauen des Grundwassers an den U-Bahn-Tunneln zu verhindern, wurden die Bauwerke beim Bau unterdükert. Heute stellen diese Düker eine ideale Infrastruktur für die thermische Grundwassernutzung dar, da einerseits die Kosten für die Errichtung neuer Brunnen eingespart werden können aber auch, weil durch die bauliche Ausprägung die Entnahme- und Einleitstelle im Aquifer sehr nahe beisammen sein können. Es besteht im Raum München große Nachfrage nach Kälte (und, wo kein Fernwärmeanschluss existiert, dezentral erzeugter Wärme), wovon ein beträchtlicher und wachsender Teil durch oberflächennahe Geothermie gedeckt wird. Durch die dichte Verteilung verschiedener (hauptsächlich thermischer) Grundwassernutzungen in einigen Stadtgebieten, müssen neue Anlagen mit Vorsicht geplant werden, um negative Beeinflussungen bestehender Anlagen zu verhindern.

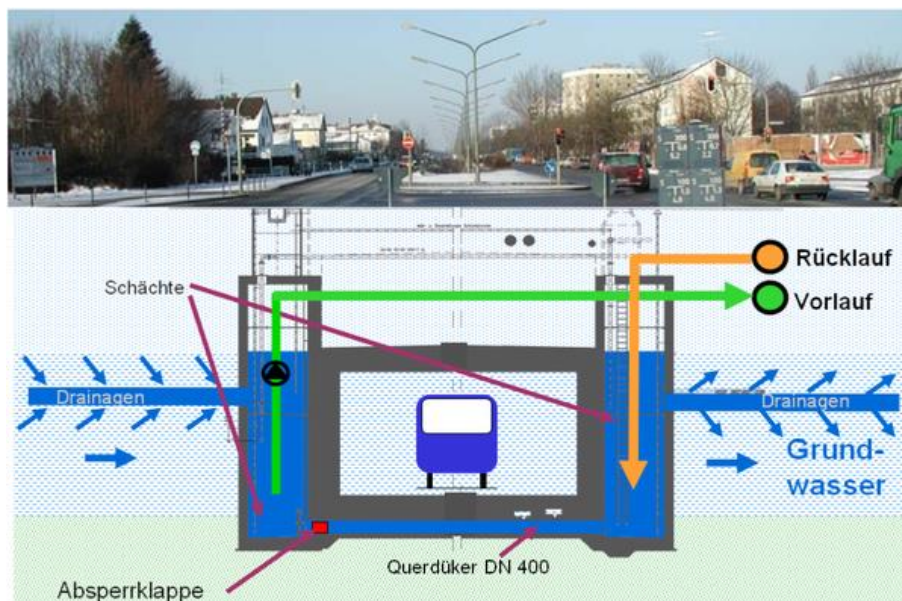


Abb. 1: Funktionsprinzip der thermischen Nutzung eines U-Bahn-Dükers

Im Falle der U-Bahn-Düker besteht hier die einmalige Möglichkeit, das Nutzungskonzept in Hinsicht auf Anzahl, Lage und zeitliche Belastung der genutzten Bauwerke optimieren zu können. Die Nutzung weiter entfernter Düker zur besseren Verteilung der Wärmefahne kann hier im Konflikt mit einer Minimierung der Kosten für die Leitungslage stehen. Die SWM haben in Zusammenarbeit mit ERDWERK und der TU München, Lehrstuhl für Hydrogeolo-

gie, bereits mehrere Projekte realisiert und das Vorgehen optimiert. Nach Möglichkeit wird eine kombinierte Kälte-/Wärmenutzung über die Jahreszeiten angestrebt, um den jährlichen Wärmeeintrag in den Aquifer zu beschränken. Für die Planung dieser Anlagen hat sich die numerische hydraulisch-thermische Simulation als unverzichtbares Werkzeug bewährt. Dank der sehr guten hydrogeologischen Datenlage im Stadtgebiet München (s. dazu das Projekt GEPO (Zosseder et al, 2015)) kann der Aquifer sowohl in seiner Geometrie wie auch in der Verteilung der hydraulischen Parameter zu einem gewissen Grad realitätsnah abgebildet werden. Durch einen dreidimensionalen Modellansatz kann auch die komplexe Situation am U-Bahn-Schacht mit den Dükersträngen dargestellt werden. Eine Quelle zusätzlicher Unsicherheit in diesen Modellen ist die thermische Interaktion mit dem liegenden tertiären Grundwasserstauer. Mit diesen Modellen können verschiedene Nutzungskonzepte simuliert, bewertet und untereinander verglichen werden.

Anhand eines Fallbeispiels stellen wir vor, wie für eine kombinierte Kälte-/Wärmenutzung im Münchner Stadtgebiet in einem iterativen Prozess ein angemessenes Betriebskonzept entwickelt wurde, das durch die Nutzung von 4 Dükeranlagen 4 MW Kälte und 1 MW Wärme zur Verfügung stellen soll.

Literatur

Stadtwerke München GmbH (2006): Einsatz von Fernkälte aus Grundwasserüberleitungen für ein Rechenzentrum in München. Abschlussbericht.

Zosseder, K., Chavez-Kus, L., Kerl, M., Arlbarrán-Ordás, A., Beichel, K., Kotyla, P., Somogyi, G. & Albert, K. (2015): GEPO Münchener Schotterebene – Erstellung einer Datengrundlage für die Abschätzung des geothermischen Potenzials im oberflächennahen Untergrund des quartären Grundwasserleiters des Großraum Münchens. – unveröff. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, Lst. Für Hydrogeologie, Geothermal Energy Working Group, Technische Universität München, München.

Poster

P 4.1

Weltweite Entwicklung von Aquiferspeichern – Risiken und Chancen

Paul Fleuchaus¹, Bas Godschalk², Ingrid Stober¹, Philipp Blum¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie

² IF Technology, Velperweg 37, 6824 BE Arnhem, Niederlande

Kontakt: Paul.Fleuchaus@kit.edu

Während rund die Hälfte des deutschen Endenergieverbrauchs auf den Wärmesektor entfällt, ist hier der Anteil erneuerbarer Energien in den letzten Jahren kaum gestiegen. Aquiferspeicher haben sich als vielversprechende Technologie erwiesen, den jahreszeitlichen Versatz zwischen Zeiten hoher Energieproduktion und Zeiten hoher Energienachfrage zu überbrücken. Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über die weltweite Entwicklung von Aquiferspeichern unter Berücksichtigung ökonomischer und technischer Betriebsdaten.

Im Vergleich zu konventionellen Systemen haben sich Aquiferspeicher durch Energieeinsparungen zwischen 40% und 70% nach durchschnittlich 2-7 Jahren amortisiert. Große Aquiferspeicher erzielen CO₂ Einsparungen von >> 1.000 t/a. Weltweit befinden sich über 2.800 Aquiferspeicher in Betrieb, welche zusammen insgesamt über 2,5 TWh an thermischer Energie liefern. Dies entspricht dem Heizenergiebedarf von 90.000 Einfamilienhäusern. Über 99% der Speicher sind oberflächennahe Niedrigtemperaturspeicher mit einer Speichertemperatur von < 25°C. 85% aller Aquiferspeicher befinden sich in den Niederlanden, weitere 9% zusammen in Schweden, Belgien und Dänemark. In Deutschland wurden bisher nur 3 ATEs realisiert, weitere 6 Projekte sind jedoch derzeit in Planung. Die zum Teil stark unterschiedliche Entwicklung von Aquiferspeichern weltweit lässt sich weniger durch Untergrund-spezifische Faktoren, als vielmehr durch sozioökonomische und legislative Barrieren erklären. Werden diese Barrieren jedoch aktiv beseitigt, besteht auch in Deutschland ein großes Potential für den Einsatz kostengünstiger und umweltschonender Aquiferspeicher.

P 4.2

Spatial assessment of the thermal groundwater potential

Fabian Böttcher¹, Kai Zosseder¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

Kontakt: fabian.boettcher@tum.de

In regional development, politics has integrated multiple actions for mitigation and adaptation of climate change into their agendas. Initiatives, like the Covenant of Mayors, encourage municipalities and cities to commit themselves towards ambitious targets of sustainable energy production. The actions to accomplish those targets mostly focus on renewable sources, which are established in municipal energy planning. The quantification of the shallow geothermal potential and especially the potential for the thermal use of groundwater is often neglected or only incidentally mentioned. This leads to a missing awareness of a highly capable and renewable energy source for heating and cooling.

A main reason for this situation is the lack of comprehensive concepts for the assessment of the geothermal potential (cf. Abesser, 2007). The thermal potential estimation for groundwater is subject to many different issues. Regulatory and operational constraints, but also complex well yield and thermal anomaly estimations, which depend on a wide variety of influential parameters. A major challenge for the assessment of the potential is the very different spatial knowledge about the hydrogeological influences. In an elaborated concept, the evaluation of input data of varying quality or spatial resolution should be possible by available uncertainty measures.

Within the EU-Interreg project GRETA, we develop a concept for the spatial assessment of the potential for the thermal use of groundwater that involves all relevant topics in a holistic approach (Casasso et al., 2017). Prior to a quantitative assessment, regulatory criteria like drinking water protection or temperature thresholds, as well as geotechnical constraints are reviewed. In the following step, the hydraulic potential, which corresponds to the maximum yield of a well doublet without hydraulic breakthrough, is quantified. The derived yield is used in the second step to estimate the size of the thermal anomaly. With the integration of a spatial character, areal queries lead to a reasonable technical potential where thermal interactions between neighbouring users are avoided. By the consideration of the spatial impact of hydraulic and thermal changes, the method is suitable for energy planning in municipalities and cities. The essential dependencies are elaborated through exhaustive parameter variations in numerical box models. With the numerical approach, we assure that also complex non-linear coherences are represented.

The method is applied in the city area of Munich, where detailed raster maps are available for all relevant input parameters. Reports on existing systems are used for plausibility checks and a verification of the method. The work in the GRETA project is currently ongoing and the presented results are preliminary.

References

- Abesser, C. (2007): Open-loop ground source heat pumps and the groundwater systems: A literature review of current applications, regulations and problems. British Geological Survey Open Report, OR/10/045. 31pp.
- Casasso, A., Piga, B., Sethi, R., Prestor, J., Pestotnik, S., Bottig, M., Goetzl, G., Zambelli, P., D'Alonzo, V., Vaccaro, R., Capodaglio, P., Olmedo, M., Baietto, A., Maragna, C., Boettcher, F. & Zosseder, K. (2017): The GRETA project: The contribution of near-surface geothermal energy for the energetic self-sufficiency of Alpine regions, *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, 6, DOI: 10.7343/as-2017-265.

P 4.3

Thermal Retardation in Highly Conductive Aquifers

Manuel Gossler¹, Kai Zosseder¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

Kontakt: manuel.gossler@tum.de

Near surface geothermal energy systems play a significant part in the aim of increasing the share of renewable energy as strived by the government in the “Erneuerbare-Energien-Gesetz”. However, to ensure economically and environmentally sustainable usage of these systems, information about heat transport parameters (thermal and hydrodynamic

parameters) is crucial for forecasting the thermal transport and storage behavior of the subsurface (Banks, 2015). Furthermore, prediction of the thermally affected zone is a key factor in the impact assessment of these systems.

One possibility to determine thermal and hydrodynamic parameters, i.e. heat capacity and average groundwater velocity, is the application of the thermal retardation factor as described by Bodvarsson (1972) and Shook (2001) with the assumption that solid and fluid are in local thermal equilibrium (LTE) and effective thermal conductivity can be neglected as a second order effect. Moreover, the thermal retardation factor can be used to predict thermal-breakthrough in ATEs systems, which severely affects the efficiency in these systems (Shook 2001).

Laboratory experiments are conducted to evaluate under which hydraulic conditions these assumptions are valid to use the thermal retardation factor for determining thermal and hydrodynamic aquifer parameters in highly conductive aquifers. In a column experiment the temperature development (fluid and solid) of a porous medium (gravel) under different flow conditions is monitored and analyzed.

First results show that effective thermal conductivity significantly influences the thermal peak velocity up to groundwater flow velocities of around 10 m/d for the studied porous medium. These first results indicate that at higher flow velocities advective heat transport is dominant and the thermal retardation factor can be used to determine the involved quantities. Furthermore, at low flow velocities thermal breakthrough time can be overestimated if the thermal retardation factor is used in thermal impact assessment.

References

- Banks, D. (2015): A review of the importance of regional groundwater advection for ground heat exchange. *Environmental Earth Sciences*, 73(6).
Bodvarsson, G. (1972): Thermal problems in the siting of reinjection wells. *Geothermics*, 1(2), 63–66.
Shook, G.M. (2001): Predicting thermal breakthrough in heterogeneous media from tracer tests. *Geothermics*, 30(6).

P 4.4

Einfluss von Erdbeben auf den Wasserstand im geothermischen Reservoir von Waiwera (Neuseeland)

Michael Kühn¹, Tim Schöne²

¹ Fluidsystemmodellierung, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

² Institut für Geologische Wissenschaften, Freie Universität Berlin

Kontakt: michael.kuehn@gfz-potsdam.de

Das Warmwasserreservoir ist seit vielen Jahrhunderten bei den Ureinwohnern, den Maori, bekannt. Die Nutzung durch die europäischen Einwanderer begann 1863. Bis in das Jahr 1969 waren die bis dahin abgeteuften Brunnen artesisch. Ausgelöst durch eine Überproduktion muss das heiße Wasser seitdem mit Pumpen gefördert werden (Kühn und Stöfen, 2005). Um den Zustand des Reservoirs besser kontrollieren zu können, wurde 1982 eine Überwachungsbohrung abgeteuft (Kühn und Altmannsberger, 2016). In dieser wird seitdem der Wasserstand alle 15 Minuten registriert (Kühn et al., 2016). In der Zeitreihe treten Abschnitte auf, die nicht den normalerweise invers proportionalen Zusammenhang zwischen Förderrate und Wasserstand zeigen (Kühn und Schöne, 2017). Inwieweit Erdbeben Auslöser für dieses Verhalten sein können, wird in diesem Beitrag untersucht. So kam es z.B. in den Stunden und Tagen nach dem Kaikoura-Erdbeben am 14.11.2016 zu einem Anstieg des Wasserstands um ca. 0,5 m in der Überwachungsbohrung sowie artesischem Fluss aus verschiedenen Produktionsbohrungen.

Das Reservoir befindet sich in einer Tiefe von bis zu 400 m. Das geothermische Wasser strömt mit ca. 50 °C über eine Störung an der Basis ein. Durch Erdbeben ab einer gewissen Stärke könnte es zu Veränderungen der Gesteinsdurchlässigkeit und damit lokal auch der Grundwasserdynamik kommen. Der Zustrom verändert sich in Abhängigkeit der freiwerdenden seismischen Energie (Wang und Manga, 2010). Die dafür zu betrachtende Größe ist die seismische Energiedichte, die sich empirisch aus der Erdbebenmagnitude und der Distanz des hydrogeologischen Ereignisses zum Erdbebenherd berechnen lässt (Wang, 2007).

Für die Untersuchungen hier wurden alle aufgezeichneten Erdbeben ab 1986 mit einer Magnitude größer als 5 im Umkreis von ca. 1.500 km um Neuseeland verwendet (Abbildung). Über ein Geoinformationssystem (GIS) wurden

die Distanzen jedes Erdbebenherdes zur Überwachungsbohrung in Waiwera berechnet und daraufhin die jeweilige seismische Energiedichte bestimmt (Abbildung). Um messbare Wasserstandsänderungen hervorzurufen, muss ein Schwellwert von 0,001 überschritten werden (Wang und Manga, 2010).

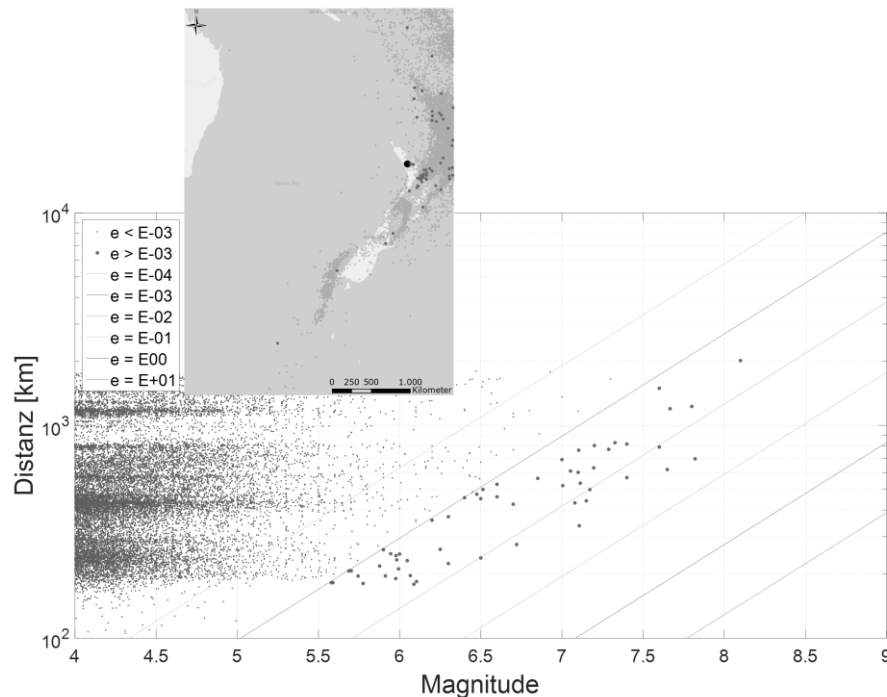


Abb. 1: Seismische Energiedichte aller aufgezeichneten Erdbeben mit einer Magnitude größer 5 im Umkreis von 1.500 km um Neuseeland im Zeitraum seit 1986

Eine eindeutige Korrelation zwischen den relevanten Erdbeben und daraus resultierenden Veränderungen im Wasserstand lässt sich nicht nachweisen. Wesentlicher Faktor, der dies erschwert, ist die unterschiedliche zeitliche Auflösung der Wasserstandsmessungen (15 Minuten) und Produktionsraten (Monatsmittel). Zudem liegt ein signifikanter Versatz des Wasserstands, verursacht durch Erdbeben, schon bei einigen Zentimetern bis wenigen Dezimetern vor (Brodsky et al., 2003). Um diesen tatsächlich zu identifizieren, ist eine von den Produktionsraten abhängende Zeitreihe nicht gut geeignet. Dafür wären Daten einer weitgehend unbeeinflussten Messstelle notwendig. Es muss aber auch berücksichtigt werden, dass keines der aufgezeichneten Erdbeben zu einer so hohen Energiedichte in Waiwera geführt hat, wie es das Kaikoura-Beben tat.

Literatur

- Brodsky, E.E., Roeloffs, E., Woodcock, D., Gall, I., & Manga M. (2003): A mechanism for sustained groundwater pressure changes induced by distant earthquakes. *Journal of Geophysical Research* 108(B8), 2390
- Kühn, M. & Altmannsberger, C. (2016): Assessment of data driven and process based water management tools for the geothermal reservoir Waiwera (New Zealand). *Energy Procedia* 97, 403-410
- Kühn, M., Altmannsberger, C. & Hens, C. (2016): Waiweras Warmwasserreservoir – Welche Aussagekraft haben Modelle? *Grundwasser* 21, 107-117
- Kühn, M. & Schöne, T. (2017): Multivariate regression model from water level and production rate time series for the geothermal reservoir Waiwera (New Zealand). *Energy Procedia* 125, 571-579
- Kühn, M. & Stöfen, H. (2005): A reactive flow model of the geothermal reservoir Waiwera, New Zealand. *Hydrogeology Journal* 13, 606-626
- Wang, C.-Y. (2007): Liquefaction beyond the near field. *Seismological Research Letters* 78, 512-7
- Wang, C.-Y. & Manga, M. (2010): Hydrologic responses to earthquakes and a general metric. *Geofluids* 10, 206-216

P 4.5

Umweltverträgliche Nutzung geothermischer Wärmespeicher – Ermittlung und Bewertung thermischer Veränderungen im Grundwasser, thermische Bewirtschaftung des Grundwassers, Handlungsempfehlungen

Florian Ludwig¹, Uwe Hiester¹, Volker Jungk², Claus Nitsche³, Dieter Poetke³

¹ reconsite GmbH, Fellbach

² Jungk Consult GmbH, Berlin

³ BGD ECOSAX GmbH, Dresden

Kontakt: florian.ludwig@reconsite.com

Zum Erreichen der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung und dem damit verbundenen Ausbau der erneuerbaren Energien wird künftig in größerem Umfang auch die thermische Nutzung des Untergrunds erforderlich sein. Hierbei stellen geothermische Energie- bzw. Wärmespeicher unterschiedlicher Größe und Lage einen wichtigen Baustein dar.

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) regelt den Schutz des Grundwassers und räumt der wasserwirtschaftlichen Nutzung des Grundwassers für die öffentliche Wasserversorgung, insbesondere der Trinkwassergewinnung, Vorrang vor anderen Nutzungen ein. Oberflächennahe Grundwasserleiter haben jedoch ein großes Wärmespeicherpotenzial und können so einen wesentlichen Beitrag für saisonale Puffersysteme, zur Gebäudekühlung und für die Speicherung von Überschussstrom (Power-to-heat) leisten. Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Nutzungen oberflächennaher Grundwasserleiter ist eine nachhaltige, vorausschauende und vorsorgende Planung geothermischer Nutzungen erforderlich, bei der Nutzungskonflikte mit der Wasserwirtschaft weitgehend vermieden werden.

Im Rahmen eines laufenden Forschungs- und Entwicklungsvorhabens des Umweltbundesamtes werden die potenziellen Auswirkungen eines "thermischen Impacts" auf das Grundwasser eruiert, diskutiert und bewertet. Hierbei stehen insbesondere Veränderungen in natürlichen, in thermisch vorbelasteten (z. B. urbane Wärmeinseln) sowie in mit Schadstoffen kontaminierten Grundwasserleitern im Mittelpunkt.

In der Genehmigungspraxis ist sicher zu stellen, dass eine geothermische Nutzung des Untergrunds keine nachteilige Beeinträchtigung der Grundwasserqualität und insbesondere der Trinkwasserversorgung darstellt. Hierzu werden der Einfluss einer thermischen Veränderung auf die Grundwasserqualität wie die physikochemische Beschaffenheit des Grundwassers und das Ökosystem Grundwasser evaluiert, quantifiziert und differenziert bewertet. Ziel ist die Ableitung von Grenzkriterien, zum Beispiel als thermische Geringfügigkeitsschwellen, bei denen eine thermische Veränderung noch keine nachteilige Grundwasserveränderung bewirkt bzw. unterhalb derer Veränderungen als tolerabel eingestuft werden können.

Die Ergebnisse sollen der Umweltbewertung von geothermischen Wärmespeichern dienen und als Handlungsempfehlung den Vollzugsbehörden und Planern Bewertungshilfen liefern. Bei den Handlungsempfehlungen werden neben dem WHG konzeptionelle Ansätze aus benachbarten Gesetzesbereichen wie dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG), der Grundwasserverordnung (GrwV), den Regelwerken der LAWA (Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS)), dem Bundesberggesetz (BBergG) sowie technischen Regelwerken (z.B. VDI 4640) auf ihre Übertragbarkeit auf die Genehmigung geothermischer Speicher hin geprüft.

P 4.6

Heat supply by shallow geothermal energy in Karlsruhe

Carolin Tissen¹, Kathrin Menberg¹, Peter Bayer², Philipp Blum¹

¹ Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

² Technische Hochschule Ingolstadt, Fakultät für Maschinenbau, Esplanade 10, 85049 Ingolstadt

Kontakt: carolin.tissen@kit.edu

By employing shallow geothermal systems, heat is extracted from the subsurface and utilized for space heating and domestic hot water (DHW). In built-up areas the available thermal energy is even larger, if the subsurface urban heat island (UHI) effect is also considered. Increased surface temperatures combined with underground anthropogenic heat sources, such as basements and sewage systems, can raise urban groundwater temperatures by 3 K to 7 K above those in rural areas. Previous studies calculated the annual average anthropogenic heat flux into the ground by means of a spatially resolved heat transport model (Benz et al., 2015).

In this study, the geothermal potential is compared to the energy demand for space heating as well as DHW for the urban quarter “Rintheimer Feld” in Karlsruhe, Germany. In this quarter the housing association (Volkswohnung GmbH) is proprietor of 30 multifamily-houses with about 70,000 m² of living space. These houses were built in the 1950/60s and meanwhile have been refurbished (Rink and Kuklinski, 2015). The calculation is based on the consumption data of space heating and DHW of all buildings before and after the refurbishment. By merging the anthropogenic heat flux and the energy stored underground we obtain the geothermal potential. Based on these results and considering space availability as well as (hydro)geological boundary conditions, we determine the required number of open and closed geothermal systems. Furthermore, we determine how much of the energy demand – before and after refurbishment, respectively – can be covered by one of the three following geothermal systems: (1) horizontal ground heat exchangers (HBHE), (2) ground source heat pump (GSHP) systems with vertical borehole heat exchangers (BHE) and (3) ground water heat pump (GWHP) systems. Our results show that energy supplied by the HBHE is not sufficient, since the area required for the system installation is too small. Totally 90% of the heating energy demand can be covered. Assuming a BHE length of 100 m and a spacing of 5 m, the energy demand before and after refurbishment can be fully covered by GSHP systems. GWHP systems can only partly cover the demand, due to the higher space demand, which is required to avoid thermal interaction between the wells. In case of a conservative assumption (1 K plume isotherm), 6% of the energy demand can be obtained before and 13% covered after refurbishment. Assuming a 3 K plume isotherm, an entire coverage of the demand is possible after and at 76% before refurbishment.

To conclude, GSHP systems can cover the energy demand before and after refurbishment in the “Rintheimer Feld” and are therefore also the preferred geothermal system variant.

References

- Benz, S.A., Bayer, P., Menberg, K., Jung, S. & Blum, P. (2015): Spatial Resolution of Anthropogenic Heat Fluxes into Urban Aquifers. *Science of the Total Environment*, 524–525
- Rink, R. & Kuklinski, R. (2015): Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim: Optimierungsmethoden, Praxiserfahrungen, Ergebnisse. Begleitforschung EnEff:Stadt

P 4.7

Geothermische Nutzung einer ehemaligen Eisenerzgrube im Siegerland

Georg Wieber¹, Frieder Enzmann², Michael Kersten², Marion Stemke³

¹ *Direktor, Landesamt für Geologie und Bergbau*

² *Universität Mainz*

³ *Universität Mainz*

Kontakt: wieber@uni-mainz.de

Mit Bescheid des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz wurde der Stadt Herdorf die geothermische Nutzung der gefluteten Grubenbaue im Feld Margrethe bewilligt. Die Bergwerke des Feldes sind Teil einer Verbundgrube, die aus fünf zunächst selbstständig betriebenen Bergwerken besteht. Während die oberen Tiefbausohlen nur die einzelnen Gruben erschließen, sind die tieferen Tiefbausohlen durchschlägig (Abb. 1). Die Nutzung umfasst einerseits die über den Tiefen Stollen der Grube Wolf auslaufenden Grubenwässer, außerdem ist vorgesehen, aus dem Schacht der Grube San Fernando warmes Grubenwasser abzupumpen, geothermisch zu nutzen und anschließend in den Schacht der Grube Friedrich-Wilhelm zu reinfiltrieren (Abb. 1). Der Bergbau ging in Teufen von bis über 1000 m um.

Im Vorfeld der Genehmigung wurden umfassende hydrochemische und hydraulische Untersuchungen durchgeführt. Die Temperatur der auslaufenden Wässer sowie in den für Messungen zugänglichen Schächten beträgt über 17°C.

Durch einen Pumpversuch wurden die hydraulischen Verbindungen im System der Gruben Friedrich-Wilhelm – San Fernando – Wolf bestätigt. Die Wässer wiesen eine gleichbleibende physiko-chemische Beschaffenheit auf. Lediglich das Redox-Potential verringerte sich deutlich von 377 mV auf zwischenzeitlich 140 mV, da stagnierende und/oder Wässer aus tiefen Teufen in den Wasserkreislauf einbezogen wurden.

Die geothermische Nutzung San Fernando – Friedrich Wilhelm steht jetzt unmittelbar vor der Umsetzung. Die beiden Gruben sind erst über die 830 m Tiefbausohle. Mit der vorgesehenen Variante soll ein Kreislauf geschaffen werden, der über einen Fließweg von ca. 2.250 m eine geothermische Regeneration gewährleistet. Dabei fungieren die Stollen und Schächte als überdimensionale Wärmetauscher. Außerdem sind in den gesamten gefluteten Grubengebäuden der Verbundgrube unter ungünstigen Annahmen (mindestens) 2,4 Mio. m³ Grubenwasser eingestaut (Streb, 2012).

Zum (nochmaligen) Nachweis einer ausreichenden hydraulischen Verbindung findet die Nutzung zunächst mit einer Pumpleistung von 5 l/s statt, die dann kontinuierlich auf 20 l/s gesteigert werden soll. Dabei findet eine hydraulische Überwachung statt, die Änderungen der Wasserstände in den Schächten sowie am Auslauf des Tiefen Stollens dokumentiert und überwacht. Der Wärmeentzug ist über Rohrwärmetauscher geplant.

Falls die geplante Nutzung über einen Entnahmeschacht und eine Infiltrationsstelle nur eingeschränkt möglich ist, wurden Konzepte für die eigenständige Nutzung der Gruben San Fernando und Friedrich Wilhelm entwickelt.

Die geothermische Nutzung soll sukzessive ausgebaut werden. Vorgesehen sind geothermische Nutzungen zur Heizung und Kühlung verschiedener kommunaler und gewerblicher Gebäude.

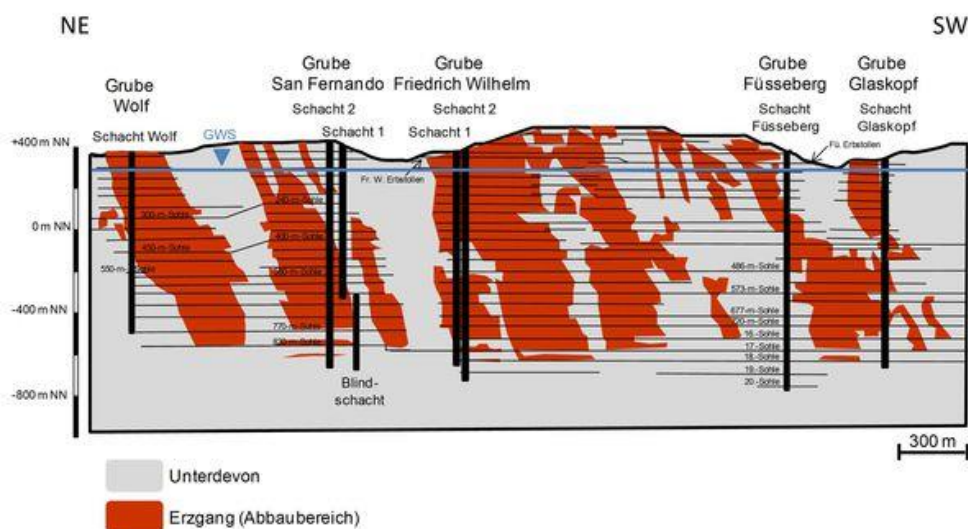


Abb 1: Saigerriß der Verbundgrube

Literatur

- Stadt Herdorf (2012): Hauptbetriebsplan nach §52 (1) BBergG Zur geothermischen Nutzung von Grubenwasser in Herdorf Geothermieprojekt „Ziegenberg“ im Bewilligungsfeld „Margarethe I“.
- Streb, C. (2012): Hydrochemische und hydraulische Untersuchungen eines gefluteten Bergwerkes –Thermodynamische Modellierung zur geothermischen Nutzung des Grubenwasserpotentials. – 257 S., Mainz (Diss.).
- Wieber, G. (2011): Geflutete Grubenbaue als Wärmespeicher. - bbr-Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 05/11, 34-40.
- Wieber, G., Enzmann, F. & Kersten, M. (2016): Pycnocline dynamics in an abandoned and flooded mine. - IMWA2016 Annual Conference July 11-15, 2016 | KUBUS Leipzig | Germany

5 Organische Schadstoffe im Grundwasser

Vorträge

O 5.1: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 09:45-10:00

Praxiserprobte Erkundungsstrategie bei großflächigen Grundwasserbelastungen in Kluftgrundwasserleitern

Katharina Berens¹, Michael Altenbockum¹

¹ *Altenbockum & Partner, Geologen*

Kontakt: berens@altenbockum.de

Grundwasserschadensfälle in Kluftgrundwasserleitern stellen die Bearbeiter immer wieder vor Herausforderungen. Die Frage nach der Art des Schadstofftransports innerhalb des Kluftsystems und der Matrix des Grundwasserleiters ist eine dieser Herausforderungen. So sind bei jedem Schadensfall standortspezifisch insbesondere die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen zu erkunden. Zur Erkundung von Kluftgrundwasserleitern steht dem Bearbeiter eine Vielzahl von mehr oder weniger etablierten Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Jedoch steht zu Beginn vieler Maßnahmen die Errichtung eines umfangreichen Grundwassermessstellennetzes ohne ausreichende Vorerkundung im Bearbeitungsablauf an erster Stelle. Nur mit ausreichenden Vorkenntnisse Gegebenheiten ist die Errichtung eines Grundwassermessstellennetzes, welches die Eigenschaften des Aquifers realistisch widerspiegelt, realisierbar.

Eine Antwort auf die Frage, welche die richtigen Untersuchungsmethoden sind, gibt es nicht. Die Antwort kann stets nur im Kontext des speziellen Untersuchungsgebietes unter Berücksichtigung der chemisch-physikalischen Eigenschaften des jeweiligen Schadstoffes gefunden werden.

So hat es sich bewährt, vor Festlegung einer konkreten Erkundungsstrategie die Erkundungsziele unter Berücksichtigung spezifischer Standortrahmenbedingungen (z.B. Topographie) klar zu formulieren. So ist ein innerstädtischer Schaden sicher anders zu erkunden, als ein Schaden auf freien Flächen. Es hat sich gezeigt, dass ein zu frühes Festlegen auf ganz bestimmte Untersuchungsmethoden dem Fortschritt und Erkenntniszugewinn im Projektablauf im Wege steht. Vielmehr ist ein iteratives Vorgehen unter ständiger Berücksichtigung aller Ergebnisse bis dahin durchgeführter Erkundungen anzustreben. Folgend werden Beispiele eines iterativen Vorgehens vorgestellt.

Bei Ersterem handelt es sich um einen mehr als 20 Jahre alten Schadensfall. Über die Jahre hat sich umfangreiches Datenmaterial angesammelt. Ein belastbares Bild der anhaltenden Schadstoffausbreitung konnten jedoch nicht gegeben werden. Die Untersuchungen beschränkten sich hier auf die klassische Strategie des Grundwassermessstellenbaus mit anschließender Durchführung von Leistungspumpversuchen und einem langjährigen Grundwassermonitoring. Hier wurde nach Auswertung des vorliegenden Datenmaterials eine neue Erkundungsstrategie beginnend mit einer geologischen Kartierung und Überprüfung des Grundwassermessstellennetzes etabliert. So konnte aus der Vielzahl von Grundwassermessstellen ein repräsentatives Grundwassermessstellennetz festgelegt werden.

Bei einem weiteren Beispiel handelt es sich um einen mehrere hundert Hektar umfassenden Standort. Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes und der geologischen Strukturen, ist die Errichtung eines repräsentativen Grundwassermessstellennetzes ohne vorlaufende Erkundungen kaum realisierbar. Hier standen zunächst die geologische Kartierung sowie eine Kontaktaufnahme zu Wissensträgern am Beginn der Arbeiten.

Praxisorientierte Modellanwendung zur Sanierungsplanung im Abstrom der Abprodukthalde Terpe (Brandenburg) als Garant für einen nachhaltigen Sanierungserfolg

Sebastian Leschik¹, Rolf Luding¹, Karsten Handro²

¹ Bereich Umwelt, CDM Smith Consult GmbH

² Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Kontakt: sebastian.leschik@cdmsmith.com

Die Verbringung von Teerschlämmen, Teer-Kohle- und Teer-Asche-Mischungen des ehem. Gaskombinates Schwarze Pumpe auf die Abprodukthalde Terpe (APH Terpe) nahe Spremberg (Brandenburg) verursachte im schwebenden Grundwasserleiter im Abstrom der APH Terpe starke Belastungen durch BTEX und Alkylphenole. Die Sanierung der APH Terpe einschließlich einer Oberflächenabdichtung wurde Ende 2007 abgeschlossen. Seit 1998 erfolgt die hydraulische Sicherung und Sanierung des kontaminierten Grundwassers. Die Fortführung der Sanierungskonzeption für den Standort sieht eine zeitnahe Ablösung der hydraulischen Sicherung durch kostengünstigere Varianten vor. In diesem Zusammenhang wurde ergänzend zu einem regionalen GW-Modell (PCGEOFIM) ein GW-Strömungs- und Schadstofftransportmodell mit der Modellierungssoftware FEFLOW für den schwebenden Grundwasserleiter als Detailmodell erstellt. Das Modellgebiet ist in 3 hydrogeologische Schichten ungesättigte Zone, oberer sGWL und unterer sGWL aus mehrheitlich sandigen und kiesigen Sedimenten unterteilt. Das Schadstofftransportmodell berücksichtigt die Schadstoffe Benzol, Phenol sowie Sauerstoff als Elektronenakzeptor und Steuergröße für aerobe oder anaerobe Abbaubedingungen. Mit Hilfe des Detailmodells wurden nach Betrachtung unterschiedlicher Szenarien wichtige Grundlagen für die weitere Sanierungsplanung und -optimierung bereitgestellt. Im laufenden Betrieb der hydraulischen Sicherung erfolgten die Optimierung der Pumpraten mehrerer Förderbrunnen sowie die Prüfung der Einbindung weiterer vorhandener GW-Messstellen als Förderbrunnen. Mit dem Detailmodell wurden die Ergebnisse eines durchgeführten ENA-Pilotversuchs überprüft und für die Auslegung eines Feldversuchs genutzt. Zur Fortführung der Sanierung wurden 4 unterschiedliche Dichtwandvarianten betrachtet. Letztendlich wurde eine Vorzugsvariante für die weitere Sanierung erarbeitet, die eine Dichtwand als Komplettumschluss mit einem Druckausgleichsbauwerk in Kombination mit nun verkürzten P+T-Maßnahmen in 2 Sanierungszonen vorsieht. Über das Detailmodell konnten Laufzeiten für die hydraulischen Maßnahmen abgeleitet werden und eine Prognose für die Einhaltung der Sanierungszielwerte gegeben werden. Vor allem durch die Identifizierung von nicht zielführenden Sanierungsvarianten konnte ein wichtiger Beitrag zu einem nachhaltigen Sanierungserfolg geleistet werden. Die Anwendungen des Detailmodells zeigen beispielhaft, wie eine praxisbezogene Modellierung für eine zielgerichtete Entscheidungsfindung eingesetzt werden kann.

Stoffaustrag von Tetrachlorethen (PER) aus einem Rotliegend-Sandstein der Kreuznach-Formation durch Wasser

Uwe Boester¹, Thomas R. Rude, Michael Altenbockum

¹ Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, RWTH Aachen university

Kontakt: boester@hydro.rwth-aachen.de

Tetrachlorethen (PER) ist ein LCKW, das als Reinigungs- und Lösungsmittel weit verbreitet ist und durch unsachgemäßen Umgang oder Unfälle häufig zu schädlichen Bodenverunreinigungen und auch zu Grundwasserschäden geführt hat. In vielen Fällen wurde versucht, die Grundwasserschäden mit Pump&Treat-Verfahren zu sanieren, oft mit mäßigem Erfolg. Die eingesetzten hydraulischen Verfahren zeigen, dass eine Dekontamination nur über lange Zeiträume zu erwarten ist, das gilt auch für das untersuchte Beispiel aus Bad Kreuznach in Rheinland-Pfalz. Aus der Bearbeitung der Altlast durch „Altenbockum & Partner, Geologen“ standen umfangreiche Bohrkernproben für erweiterte wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung.

In dem Sanierungsprojekt wurde die Altlast bereits umfangreich analysiert und ein hydrogeologisches Modell der Kreuznachformation am Altlastenstandort erstellt. Bestehende Untersuchungen zeigen, dass in der Sanierung im Wesentlichen die hydraulisch leichter zugänglichen Klüfte und Störungen des Grundwasserleiters erreicht werden. Für den Austrag des Schadstoffes ist allerdings die Nachlieferung des PERs aus der Gesteinsmatrix in die durchflusswirksamen Bereiche entscheidend (Altenbockum 2015).

Für die weitere Untersuchung der Mobilisierbarkeit durch hydraulische Maßnahmen wurden die vorliegenden Bohrkern in zwei wesentliche Texturbereiche unterteilt und Proben aus feinkörnigen und grobkörnigen Bereichen entnommen und analysiert.

Durchlässigkeitsversuche mit Hilfe einer Durchflusszelle, in der mit PER und Wasser jeweils eine der anderen Phase gesättigten Probe durchströmt wird, geben Aufschluss über den zu erwartenden PER-Austrag aus dem Probenmaterial.

Erweitert wurde diese Untersuchung durch Thermogravimetrische Analysen (TGA). Es sollte gezeigt werden, ob sich PER in Bereichen hoher Tonmineralgehalte in die Zwischenschichten der Kristallstrukturen einlagern kann.

Zur Analyse von Porengrößenverteilung und Überprüfung der Gesamtporosität wurden NMR-Messungen durchgeführt (Mohnke 2014).

Die Auswertungen von Tropf-Versuchen (Sessile Drop Method, Bond 1968) und Kapillaraufstiegsversuchen führten zur Bestimmung der Kontaktwinkel von Wasser und PER im betrachteten Gestein.

Im Ergebnis zeigen die Durchflussversuche hydraulische Durchlässigkeiten im Bereich von 10^{-11} - 10^{-13} m/s. Das unterstreicht die hydraulische Bedeutung des Kluftsystems für die Sanierung. Die Kontaktwinkelmessungen legen nahe, dass PER relativ besser benetzend ist und dadurch der Schadstoff in den Poren verbleibt, während Wasser ausgetragen wird. Die Thermogravimetriedaten deuten an, dass eine geringe Weitung der Zwischenschichtabstände von Tonmineralen durch eingelagertes PER eintritt. Die Effekte sind noch nicht abschließend ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass PER in diesem Gestein aus dem einmal gesättigten Porenraum nicht durch Wasser verdrängt und daher eine hydraulische Entfrachtung nicht zielführend ist.

Literatur

- Altenbockum, M. (2015): Dynamische Entwicklung eines Hydrogeologischen Modells des Rotliegend-Sandsteins der Kreuznach-Formation im Saar-Nahe-Becken. – Mitt. Ing.-u. Hydrogeol., 130: 150 S.; Aachen.
- Bond, R.L. (1968): Water repellent sands. – Trans. Int. Congr. Soil Sci. 9th, 339-347.
- Mohnke, O. (2014): Jointly deriving NMR surface relaxivity and pore size distributions by NMR relaxation experiments on partially desaturated rocks. – Water Resour. Res., DOI: 10.1002/2014WR015282.

O 5.4: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 10:30-10:45

Planungsinstrument für die Nano-Sanierung: Planung von Feldversuchen basierend auf Laborexperimenten zur Untersuchung von Mobilität und Reaktivität von Nano-Eisenpartikeln

Anke Wiener¹, Jürgen Braun¹, Norbert Klaas¹

¹ Institut für Wasser und Umweltsystemmodellierung - Abtl. VEGAS, Uni Stuttgart
Kontakt: anke.wiener@iws.uni-stuttgart.de

Die Nutzung von Nanopartikeln zur Schadstoffsanierung von kontaminierten Böden und Grundwasserleitern ist eine innovative in-situ Sanierungstechnologie. Die verwendeten Nanopartikel bestehen aus nullwertigen Eisen. Dies ist in der Lage eine Vielzahl von Schadstoffen abzubauen. Nullwertiges Eisen ist bereits aus der Fahnensanierung in Form von reaktiven Wänden bekannt. Der Fokus von der Nanosanierung liegt zusätzlich zur Fahnensanierung auch bei der Quellensanierung. Im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsprojektes NanoRem (EU, 7. RP) wurden Nanopartikel entwickelt und getestet. Das Ziel dieses Projektes war es die Nanopartikelsanierung zu einer praxistauglichen, sicheren und bezahlbaren Technologie weiter zu entwickeln.

Die Kenntnis der genauen Migrations- und Reaktionscharakteristiken der Nanopartikel im kontaminierten porösem Medium ist eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung dieses innovativen Sanierungsverfahrens.

Kontrollierende Faktoren für Transport und Reaktivität ergeben sich vor allem aus der Beschaffenheit des Aquifers, seiner Heterogenität, der Art des Schadstoffes und möglicher, aquiferabhängiger Konkurrenzreaktionen, der Eigenschaften der Nanopartikel und der Zusammensetzung der zu injizierenden Suspension. Dreidimensionale Versuche zu Transport und Deposition von nullwertigem Eisen im Grundwasserleiter sind aufwendig und teuer, weshalb versucht werden muss, diese durch adäquate Säulenversuche zu ersetzen. Sogenannte Cascading Column Versuche, bestehend aus einer Anzahl hintereinander geschalteter Säulen mit entsprechender Strömungsgeschwindigkeit und korrespondierender Zusammensetzung der Suspension, erlauben diese Abnahme in Säulenversuchen umzusetzen. Zur experimentellen Untersuchung des Abbaus von PCE wurden ebenfalls spezielle Säulenversuche durchgeführt. Im Versuch kann das pH – Regime zur Verminderung von Konkurrenzreaktionen kontrolliert und die Langlebigkeit der Partikel getestet werden. Durch Bilanzierung der nachgewiesenen Abbauprodukte können ablaufende Reaktionen charakterisiert werden. Zusätzlich kann die Verteilung und die Konzentrationsveränderung des nullwertigen Eisens mit Hilfe eines magnetischen Suszeptibilitätsdetektors zerstörungsfrei gemessen werden.

Die einzelnen Ergebnisse der Transport- und Reaktivitätsuntersuchungen können derzeit zwar bereits als Planungsgrundlage für den Einsatz in der Praxis umgesetzt werden, zur Entwicklung eines Sanierungsinstrumentes besteht jedoch die Notwendigkeit die komplexen Themenbereiche der Mobilität und Reaktivität zu vereinen und die gegenseitigen Wechselwirkungen aufeinander abzustimmen. Erst dann ist es möglich eine klare Aussage über die notwendige Partikelmenge und Abbauprodukte zu treffen, um eine effiziente Sanierung zu gewährleisten.

Im Konferenzbeitrag soll die neue Sanierungstechnologie präsentiert, die Versuchsabläufe und Ergebnisse der aktuellen Forschung vorgestellt und der Einfluss der gegenseitigen Wechselwirkungen diskutiert werden.

O 5.5: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 10:45-11:00

Characterizing pesticide fate in the vegetated unsaturated zone and estimating potential impacts to groundwater

Arno Rein¹, Fatemeh Shajari¹, Florian Einsiedl¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München
Kontakt: arno.rein@tum.de

Maize cultivation is currently intensified in many countries, in the context of food and forage production as well as for the use as energy plants. Pesticides and other agrochemicals are increasingly used, however often posing serious threats to groundwater, human health and non-target ecosystems. In this work we carried out lysimeter studies with four different soils planted with maize. In a five-year study, four pesticides have been applied once a year according to common agricultural practice. Pesticides and some of their metabolites were monitored in the lysimeter outflow water.

Observations revealed, in many cases, considerably high concentration peaks in outflow water shortly after application, and we aim at systematically investigating processes that could explain these findings. The first step is characterizing water flow where we use stable water isotopes as natural tracers. Stable water isotopes were measured in precipitation and lysimeter outflow water, and we use different lumped-parameter models in order to determine the mean residence time of water, dispersion properties and the possible contribution of preferential flow paths. First results, considering a time period 1.5 years, revealed mean residence times of water of about 150 days for a sandy gravel soil and about 250 days for a silt soil. Studies are currently extended to consider longer time periods (3.5 years or more). Next steps focus on chemical transport and fate. Compound-specific isotope analyses gave hints on biodegradation activity occurring in the subsurface to some extent. First mass balance estimates suggest a strong contribution of soil sorption on chemical fate. Modeling studies are currently under way for considering biodegradation under different conditions of bioavailability, as well as for estimating the contribution of plant uptake. Aims include the estimation of process contributions as well as possible consequences in terms of groundwater vulnerability.

Poster

P 5.1

Einfluss von präferentiellen Fließwegen auf den Transport von Umweltchemikalien in Lößböden am Beispiel des Lysimeterstandortes Rheindahlen

Thomas Demmel¹, Thomas R. Rüde¹, Uwe Boester¹, Jan Schwarzbauer², Roland Schindler³

¹ Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, RWTH Aachen University

² Forschungsgebiet Organische Geochemie am LEK, RWTH Aachen University

³ NEW NiederrheinWasser GmbH

Kontakt: demmel@hydro.rwth-aachen.de

Auf Basis einer Kooperationsvereinbarung mit der NEW NiederrheinWasser GmbH führt die RWTH Aachen Forschungsaktivitäten an der hydrologischen Station Rheindahlen durch. Standort ist das Gelände des Wasserwerkes Rheindahlen westlich von Mönchengladbach. Die wägbaren, monolithischen Lysimeter beinhalten für die Region typische Löss-Parabraunerden. Die verwendeten Bodenmonolithen mit Grasbewuchs haben eine Fläche von 1 m² und eine Mächtigkeit von 2 m.

In dem hier vorgestellten Projekt werden zwei Fragestellungen miteinander verknüpft: (1) Lysimeter, die über einen sehr langen Zeitraum in Betrieb sind, zeigen möglicherweise Alterungserscheinungen, die sich in Form präferentieller Wegsamkeiten, wie z.B. Randumläufigkeiten, auswirken können. Dies führt zu einem abweichenden hydraulischen Verhalten (höhere kurzfristige Sickerwasserraten und anderes Entwässerungsverhalten) nach Niederschlägen bzw. Niederschlagsphasen und daraus resultierendem Transportverhalten. (2) Als Umweltchemikalien werden Chemikalien beschrieben, die durch menschliches Zutun in die Umwelt gelangen. Viele davon sind geeignet, Mensch und Natur zu schädigen. Für den hier vorgestellten Lysimeterversuch wurden fünf Stoffe (TMDD, DEET, NBBS, HHBC und Bisphenol A) aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen mit unterschiedlichen Stoffeigenschaften ausgewählt, die aufgrund ihrer verbreiteten Nutzung häufig anzutreffen sind. Ziel ist es, den Stofftransport der Umweltchemikalien vergleichend in zwei Großlysimetern zu untersuchen, wovon eines präferentielles Fließen zeigt.

Die Stoffaufgabe von zwei konservativen Tracern (Bromid, Uranin) als auch der Umweltchemikalien erfolgte im Juli 2016. Der im Lysimeter mit präferentiellen Fließwegen (L4) beobachtete Stoffdurchbruch, sowohl der Tracer als auch von drei Umweltchemikalien (TMDD, DEET und NBBS), weniger als 2 Tagen nach Aufgabe, belegt das Vorhandensein von präferentiellen Wegsamkeiten. Aufgrund der sehr raschen Reaktion handelt es sich dabei vermutlich um sehr weite Öffnungen (möglicherweise entlang des Randes), die kaum Rückhalt bieten. Über die ersten 8 Versuchsmonate (156 mm Sickerwasserhöhe) zeigen die aufgegebenen Tracer (<< 1 %), die Stoffe TMDD und DEET (< 1 %) sowie NBBS (rund 10%) lediglich einen geringen Wiedererhalt, der darauf schließen lässt, dass nur ein Bruchteil der aufgegebenen Stoffe über diesen schnellen Pfad transportiert wurde und der Großteil in der Bodenmatrix langsam (1-2 Jahre) durch die Bodensäule transportiert wird. Während die gemessenen Konzentrationen von NBBS und TMDD mit wieder einsetzendem Sickerwasseranfall ab Dezember 2016 zurückgehen, zeigen Uranin einen gleichmäßigen und DEET einen steigenden Eintrag aus der Bodenmatrix in die drainierenden Wegsamkeiten und damit in das Sickerwasser. Das Lysimeter ohne präferentielle Fließwege (L3) hingegen zeigt nach über einem Jahr noch keinen Durchbruch.

Innovative modellgestützte Methoden zur Lokalisierung von Schadstoffquellen im Grundwasser - Instationary Capture Zones und Inverse Transportmodellierung

Felix Möhler¹, Dietmar Schäfer¹

¹ GCI GmbH

Kontakt: dietmar.schaefer@gci-kw.de

Das bewirtschaftete Grundwasser unterliegt zahlreichen Einflüssen wie Entnahmen, Maßnahmen zur Wasserhaltung, Anreicherung, Uferfiltration, klimatischen Veränderungen und stofflichen Einträgen. Die Grundwasserströmung ist dabei in Raum und Zeit veränderlich, was häufig die Identifikation von Ursachen für eine Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit sowie die Identifikation und Lokalisierung von Schadstoffquellen erschwert.

Mit Grundwassermodellen können Strömungs- und Transportprozesse instationär beschrieben werden. Bahnlinienbetrachtungen sind bei komplexen und sich verändernden hydrodynamischen Gegebenheiten oft kein geeignetes Werkzeug, um zuverlässig Schadstoffquellen im Grundwasser zu bestimmen. Die GCI GmbH hat daher zwei innovative Berechnungs- und Auswerteverfahren entwickelt, die mit Hilfe von Modellsimulationen Bereiche identifizieren, aus denen Grundwasser zu einem bestimmten Zeitpunkt einem bestimmten Ort zugeströmt ist. Die Verfahren können u. a. dazu beitragen, unerkannte Altlastenquellen zu lokalisieren oder andere Einflüsse, die eine Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit bewirken, aufzudecken.

- Das Wanderpunktverfahren “GCI-ICZ“ (Instationary Capture Zones) ermöglicht die Bestimmung instationärer Einzugsgebiete. Hierbei werden an festgelegten Startpunkten im Modellgebiet regelmäßig Partikel gestartet, die während der instationären Simulation durch das Strömungsfeld bewegt werden. Alle Partikel werden in einer Datenbank erfasst. Auf Basis dieser Datengrundlage können räumlich und zeitlich hochauflösend instationäre Einzugsgebiete für einzelne Brunnen, Brunnengruppen, Wasserfassungen oder auch ganze Wasserwerke ausgewiesen werden. In Kombination mit weiteren Informationen ist so die Identifikation von punktuellen, linienhaften oder diffus-flächenhaften Schadstoffeinträgen möglich.
Ein Anwendungsbeispiel zeigt die Ausweisung von Risikoflächen für den Eintrag des Pflanzenschutzmittels Bentazon im Vorfeld eines Wasserwerks.
- Bei der inversen Transportmodellierung “GCI-INVERS“ werden qualitativ Lagewahrscheinlichkeiten einer potentiellen Schadstoffquelle bestimmt. Hierzu wird die Zeitachse aller Modellrandbedingung umgekehrt. An Brunnen analysierte Stoffkonzentrationen werden bei einer rückwärtsgerichteten Transportsimulation an den Brunnen als Quellfunktion in das Modell eingebracht und von dort aus entgegen dem Strömungsgradienten vom Brunnen weg fortbewegt. Im Ergebnis können Bereiche in Raum und Zeit ausgewiesen werden, in denen die Schadstoffquelle zu vermuten ist und auf die die Schadstoffquellensuche fokussiert werden kann. Die Kombination mit weiteren Informationen begrenzt den Aufwand der Quellensuche weiter. Dieses Verfahren fand in der Praxis bereits mehrfach Anwendung und wurde zur Auffindung altlastbedingter Eintragsquellen erfolgreich eingesetzt.

Massenbilanzierung von atmogenen PAK mit alpinen Lysimeterdaten

Thomas Schiedek¹, Lidia Nersissian¹, Steffen Birk², Markus Herndl³

¹ Hydrogeologie, TU Darmstadt

² Hydrogeologie, Karl-Franzens-Universität Graz

³ Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein

Kontakt: schiedek@geo.tu-darmstadt.de

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind ubiquitäre, toxische organische Schadstoffe, die durch unvollständige Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen und größtenteils direkt in die Atmosphäre emittiert

werden. Durch atmosphärische Deposition können sie wieder in die Geosphäre eingetragen werden, wobei wenig über alpine Stoffumsätze bekannt ist. Meyer et al. (2006) konnten in Laborversuchen zeigen, dass PAK im Schnee gespeichert werden und mit Schmelzwasser differenziert freigesetzt werden. Ziel unserer Studie war die Massenbilanzierung atmogener PAK in alpinen Böden. Hierzu wurden Depositions-, Boden- und Sickerwasser-Proben in den Nördlichen Kalkalpen in Lysimetern am Stoderzinken (Berg) und in Gumpenstein (Tal) untersucht.

PAK konnten in Wasser und Boden nachgewiesen werden. In allen Böden waren die gleichen PAK-Einzelverbindungen allerdings mit unterschiedlichen Konzentrationen vorhanden, höhermolekulare waren gegenüber niedermolekularen PAK häufig angereichert. Während die PAK-Gehalte in Gumpenstein in einer ähnlichen Größenordnung lagen, gab es deutliche Unterschiede am Stoderzinken. Niedermolekulare PAK hatten in den Sommermonaten sowohl im Niederschlag als auch im Sickerwasser eine Konzentration in derselben Größenordnung. Höhermolekulare PAK konnten im Niederschlag, aber nicht in Schneeproben nachgewiesen werden. Für 2 ausgewählte Zeiträume (Mai/Juni und Herbst 2016) konnten Massenbilanzen erstellt werden. Ein Vergleich der Massenbilanzen beider Lysimeter lässt auf eine höhere Eintragsfracht am Stoderzinken schließen.

Während am Stoderzinken die Massenbilanz für 6 PAK (Naphthalin Nap, Fluoren Fln, Benzo(b)Fluoranthen BbF, Benzo(e)Pyren BeP, Phenanthren Phe, Pyren Pyr) im Zeitraum Mai bis Juni 2016 eine Akkumulation im Boden für Nap, Fln, BbF und BeP zeigt, wurden Phe, Pyr und Fln aus dem Boden ausgetragen. Da diese Verbindungen sehr geringe Wasserlöslichkeiten und hohe Sorptionskoeffizienten besitzen, ist diese Beobachtung wahrscheinlich auf partikel- oder kolloidgebundene Transportprozesse zurückzuführen. Im Tallysimeter Gumpenstein wurden im selben Zeitraum dagegen nur Fln sowie Pyr eingetragen und Nap, Fln und Pyr ausgetragen.

Im Herbst 2016 (September) konnten im Eintrag am Stoderzinken wiederum Nap, Fln, Phe und Pyr gefunden werden, während BeP und BbF nicht mehr nachgewiesen wurden. Hinzu kam im Eintrag Benzo(a)Pyren, das im Bilanzzeitraum im Boden gespeichert wurde (kein Austrag). Nap war beim Eintrag im Vergleich zum Mai/Juni stark erhöht und konnte als einzige Verbindung auch im Austrag nachgewiesen werden. Im Tallysimeter Gumpenstein konnte von Oktober bis Anfang Dezember 2016 bilanziert werden, zeigte jedoch ein ähnliches Bild wie am Stoderzinken im September mit hohen Nap Ein- und Austrägen, während höhermolekulare Verbindungen nur eingetragen wurden.

Die Ergebnisse deuten auf eine generell differenzierte PAK-Belastung von alpinen Bergen und Tälern hin.

Literatur

Meyer, T., Lei, Y.D. & Wania, F. (2006): Measuring the Release of Organic Contaminants from Melting Snow under Controlled Conditions. *Environ. Sci. Technol.* 40(10):3320–3326.

6 Grundwasserhochstände – Prozesse, Risiken, Planungshilfen

Vorträge

O 6.1: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 15:45-16:00

Hohe Grundwasserstände – Planungshilfen für Kommunen und Bauherren

Linda Dworak¹, Hans Willy¹, Bernhard Pitschka¹, Jörg Neumann¹

¹ Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hans-Högn-Str. 12, 95030 Hof

Kontakt: linda.dworak@lfu.bayern.de

Als Folge extremer Niederschläge und im Zusammenhang mit Hochwasserereignissen werden durch hohe Grundwasserstände regelmäßig Schäden auch außerhalb überschwemmter Gebiete verursacht. Häufige Anfragen von Bürgern an die Wasserwirtschaftsverwaltung unterstreichen die Bedeutung dieser Thematik. Nach dem letzten großen Hochwasser 2013 wurde in Bayern auf Projektbasis begonnen, vorhandene Daten systematisch auszuwerten, um darauf aufbauend potentiell betroffene Bereiche abzugrenzen. Ziel des Vorhabens ist die Erstellung einer flächendeckenden Hinweiskarte. Mit dieser Planungshilfe, sowie begleitenden Erläuterungen sollen die verschiedenen Zielgruppen – Bürger, Bauherren, Planer, Genehmigungsbehörden, Wasserwirtschaftsverwaltung – angesprochen werden.

Das Vorkommen hoher Grundwasserstände in Bayern ist eng an die naturräumliche Ausgangslage gebunden. Großflächig treten hohe Grundwasserstände in weiten Flusstälern, Ebenen und Niederungen mit Moorbildung auf. Abseits der Flusstäler bestimmt die räumliche Verbreitung oberflächennaher Grundwasserleiter das Auftreten hoher Grundwasserstände. Dies trifft insbesondere auf die Porengrundwasserleiter des Süddeutschen Molassebeckens zu. In den Festgesteinsgebieten Bayerns (Alpenraum und Nordbayern) sind hohe Grundwasserstände zumeist auf die Niederungen der schmalen Talkorridore begrenzt. Eine Besonderheit ist die häufig flache Lagerung oberflächennaher, grundwasserstauender Schichten des Schichtstufenlandes, die Grundwasservorkommen in geringer Tiefenlage mit flächigen Vernässungszonen hervorrufen können.

Direkte und verlässliche Informationen zum höchsten gemessenen Grundwasserstand können mit Hilfe von Grundwassermessstellen und langjährigen Zeitreihen ermittelt werden. Die geringe Dichte und ungleichmäßige Verteilung der Messstellen bietet jedoch keine ausreichende Datenbasis für eine bayernweite Hinweiskarte. Zur flächendeckenden Erhebung von Gebieten mit hohen Grundwasserständen müssen deshalb weitere räumlich differenzierte Informationen herangezogen werden. Eine wichtige Zusatzinformation stellen die sogenannten „Wassersensiblen Bereiche“ (WSB) dar, die nahezu landesweit vorliegen. Diese repräsentieren die in der Bodenkundlichen Landesaufnahme kartierten grundwasserbeeinflussten bzw. grundwassernahen Böden. Weitere Datengrundlagen sind Überschwemmungsgebiete und Hochwassergefahrenflächen, Flurabstandskarten und Grundwassermodelle, Geologische und Hydrogeologische Karten sowie das Gewässernetz in Verbindung mit dem Digitalen Geländemodell. Die in der Wasserwirtschaftsverwaltung vorhandenen Bohrdaten und Ortskenntnisse ergänzen die verarbeiteten Daten. Im Rahmen des Projektes wurde eine standardisierte, GIS-gestützte Vorgehensweise entwickelt, mit der die unterschiedlichen Informationsebenen miteinander verschnitten werden. Das Ergebnis ist die „Hinweiskarte Hohe Grundwasserstände“ im Maßstab 1:500 000 für Bayern, die aktuell in einer Entwurfsversion vorliegt und spätestens 2019 veröffentlicht werden soll.

Planungshilfen für Tiefbau- und Hochwasserschutzmaßnahmen in Regionen mit hohen Grundwasserständen

Patrick Keilholz¹, Peter Schätzl¹, Bertram Monninkhoff¹

¹ DHI WASY GmbH

Kontakt: pak@dhigroup.com

In Deutschland schreitet die Urbanisierung der urbanen Regionen kontinuierlich voran. Nachverdichtung, Ausweisung zusätzlicher Baugebiete und Schaffung neuer Infrastruktur sind derzeit für Städteplaner anspruchsvolle Aufgaben. Dass es dabei zu Konflikten mit Bürgern und Interessenvertretern kommen kann, zeigen zahlreiche prominente Beispiele. In vielen Fällen spielen dabei das Thema Grundwasser und insbesondere die potenzielle Erhöhung maximaler Grundwasserstände durch die Maßnahmen bei den Bedenken eine wesentliche Rolle.

Anhand unterschiedlicher erfolgreicher Projekte aus der Region um München wird eine Planungshilfe zur Konfliktminimierung bei der Umsetzung von Baumaßnahmen im Zusammenhang mit Grund- und Oberflächenwasser vorgestellt. Das Vorgehen umfasst folgende Komponenten:

- a. Frühzeitige Einbeziehung der Bürger
- b. Entwicklung eines systemübergreifenden Verständnisses
- c. Genaue Berechnung der Folgen der geplanten Maßnahme
- d. Allgemein verständliche und visuelle Vermittlung der Berechnungsergebnisse
- e. Beweissicherung vor, während und nach Umsetzung einer Maßnahme

Grundsätzlich müssen die Bedenkenräger ernst genommen werden - einerseits sind ihre Bedenken in vielen Fällen begründet, andererseits aber auch, um unnötige Verzögerungen, z. B. durch gerichtliche Prüfung, im Planungs- und Umsetzungsprozess zu vermeiden.

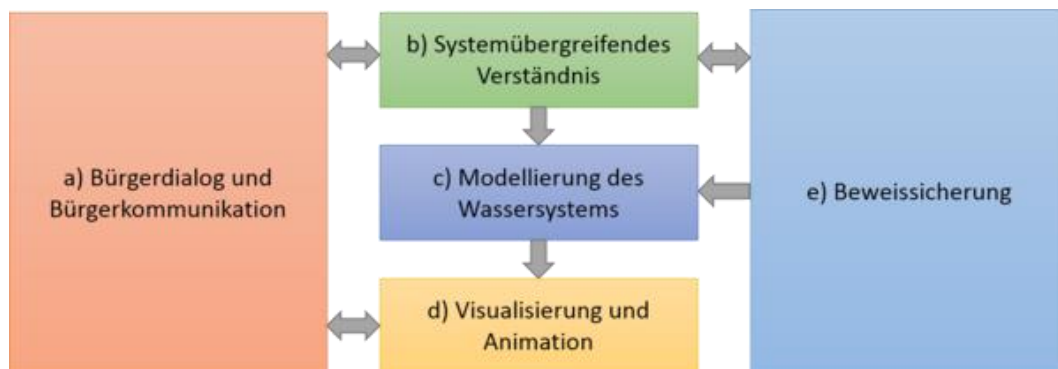


Abb 1: Systemablauf der Planungshilfe für Tiefbau- und Hochwasserschutzmaßnahmen in Regionen mit hohen Grundwasserständen

Die rapide technologische Entwicklung erlaubt es, auch komplexe Wassersysteme modelltechnisch und von Seiten der messtechnischen Begleitung ganzheitlich betrachten zu können. Gekoppelte Modelle sind Stand der Technik, automatische Datenerfassungssysteme können effizient und kostengünstig installiert werden. Abhängig von der Fragestellung können Modelle Grund- und Oberflächenwasserinteraktionen, Grundwasserinteraktion mit dem Kanalnetz oder Einfluss von Starkregen auf das Grundwasser räumlich und zeitlich hochauflösend abbilden. Gerade in letzterem Fall zeigen sich deutlich die Vorteile der Wassersystemmodellierung. In der Vergangenheit wurden oftmals die Grundwasserneubildungsraten auf Monatswertbasis angenommen, oder Simulationen kurzer Ereignisse gar mit langjährigen Mittelwerten durchgeführt. Der Einfluss von Starkregen wurde dadurch nahezu komplett ignoriert. In den vorgestellten Projekten erwies sich gerade der kurzfristige Einfluss des Niederschlags (auf Stunden- bzw. Tageswertbasis) auf das Grundwasser als hochgradig signifikant. Solche hochgradig instationären und räumlich differen-

zierten Prozesse können allen Beteiligten, insbesondere den fachfremden Akteuren, nur durch entsprechende Visualisierung, z. B. mithilfe von Animationen, adäquat und einfach verständlich vermittelt werden. In den vorgestellten Projekten hat sich diese Arbeitsweise bewährt und es konnten unterschiedliche Hochwasserschutzmaßnahmen (Flutpolder, Deichrückverlegung) und Baumaßnahmen inkl. Bauwasserhaltung (Tiefgaragen) erfolgreich geplant werden, ohne im Umfeld die Problematik der Grundwasserhochstände weiter zu verschärfen.

O 6.3: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 16:15-16:30

Folgen von reduzierten Grundwasserentnahmen: Fallbeispiel Delft (Niederlande)

Frans Roelofsen¹, Neeltje Goorden¹, Johannes van Meerten¹, Bernhard Becker¹

¹ Deltares

Kontakt: Bernhard.Becker@deltares.nl

Seit 1916 wird im Zentrum der Stadt Delft von der Firma DSM Gist Grundwasser entnommen. Im Laufe der Jahre ist die Entnahmemenge stetig gewachsen. 1996 wurde der Firma DSM Gist ein Wasserrecht zur Entnahme von 13,5 Mio. m³ pro Jahr gewährt. Mittlerweile hat sich die Situation dahingehend entwickelt, dass DSM Gist immer weniger Wasser verbraucht. Im Rahmen des Delft-Cluster-Projektes „Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht)“ (Roelofsen et al. 2008) wurde zum einen ein Monitoringkonzept entwickelt und zum anderen ein Modellierungsinstrument zur Prognose der Effekte eines Rückgangs der Grundwasserentnahmen. Dieses Modellierungsinstrument besteht aus einem dreidimensionalen geologischen Modell, einem Grundwassermodell, einem Modell für die Grundwasserbeschaffenheit, einem Oberflächenwassermodell für die Hydraulik und Gewässergüte der Entwässerungskanäle im Untersuchungsgebiet und einem geotechnischen Modell zur Prognose der Bodenbewegungen (Setzungen und Hebungen). Neben Effekten auf Grundwasserstand und Wasserbeschaffenheit zeigten Prognoseberechnungen mit dem integrierten Modellinstrumentarium, wo mit Hebungen zu rechnen ist. Die Hebungen infolge der reduzierten Grundwasserentnahme können zu Schäden an Gebäuden führen. Auch wurde analysiert, wie sich die Entnahmereduzierung auf die Wasserspiegel in den die Stadt Delft durchziehenden Kanälen auswirkt (Bild).

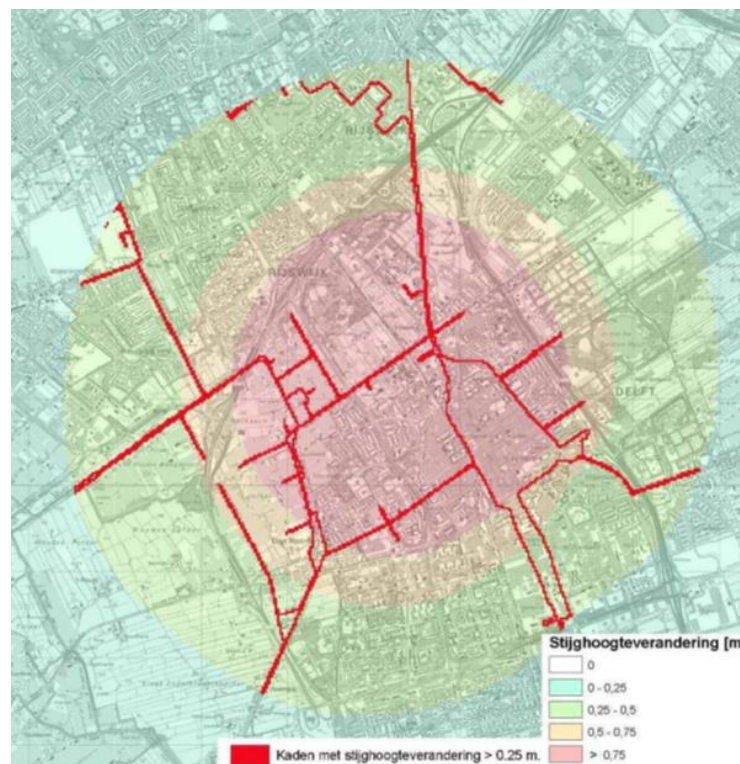


Abb 1: Kanäle im Stadtgebiet Delft mit Wasserstandsänderungen > 25 cm sowie Grundwasserstandsänderung (Stijghoogteverandering) infolge reduzierter Entnahmen DSM Gist

Auf die mit dem Rückgang der Entnahmen verbundenen Effekte müssen sich die Stadt Delft und die umliegenden Gemeinden und auch der zuständige Wasserverband einstellen. Mittlerweile hat die im Jahre 2008 untersuchte Reduktion der Grundwasserentnahmen begonnen, so dass geplante Maßnahmen zur Schadensminderung (im Wesentlichen erhöhte Drainage im Rahmen der Polderentwässerung) nun umgesetzt werden müssen.

Die Untersuchung hat dazu beigetragen, dass die Gesetzgebung in den Niederlanden dahingehend geändert wurde, dass nicht nur für Entnahmen, sondern auch für eine Reduzierung der Entnahmen eine Genehmigung der zuständigen Behörden eingeholt werden muss.

Literatur

Roelofs, F. et al. (2008): Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht) / Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft – Hoofdrapport Deltares, Bericht Nr. 2008-U-R0960/A (092.35161).

O 6.4: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 16:30-16:45

Neue Ansätze zur Verlängerung der Standzeiten von Dränagen

Frank Reichel¹, Markus Meyer¹

¹ Emschergerossenschaft

Kontakt: reichel.frank@eglv.de

Im Rahmen der gesetzlich festgelegten Aufgaben bewirtschaftet die Emschergerossenschaft nahezu alle Themen des wasserwirtschaftlichen Kreislaufs im Emschergebiet. Darin inbegriffen findet sich auch der Umgang mit steigenden Grundwasserständen, der häufig in Zusammenhang mit der Abdichtung schadhafter Mischwasserkanäle steht. Mit Hilfe von Grundwasserströmungsmodellen wurde abgeschätzt, dass im Emschergebiet aufgrund von Grundwasseranstiegen infolge der Abdichtung der Kanalisationen auf einer Gesamtfläche von ca. 134 km² das Risiko von Bauwerkschäden, insbesondere von Kellervernässungen, besteht. Zentral im öffentlichen Raum verlegte, vollgefüllte Dränagen sollen die zukünftig erwarteten Grundwasseranstiege kompensieren und zur Reduzierung des Fremdwassers in den Kanalnetzen beitragen. Der Bau von Grundwasserfassungsanlagen erfolgt im Emschergebiet unter geotechnisch schwierigen Randbedingungen. Zum einen liegen die Dränagen häufig in filtertechnisch schwierigen Böden mit höheren Feinkornanteilen. Zum anderen besteht aufgrund der hydrochemischen Situation (Eisen-, Mangan- und Carbonat-Fällungen) die Gefahr, dass die Grundwasserfassungsanlagen, frühzeitig altern.

Die Fassungsanlagen werden in der Regel in den öffentlichen Straßen verlegt und stellen einen massiven Eingriff in die kommunale Infrastruktur dar. Deshalb sind lange Standzeiten der Anlagen eine Grundvoraussetzung für eine nachhaltige und wirtschaftliche Grundwasserbewirtschaftung. An Planung und Bau der Systeme sind demnach sehr hohe Qualitätsanforderungen zu stellen.

Hinsichtlich Bau, Betrieb und Instandhaltung vollgefüllter Dränagesysteme fehlen bisher fundierte Langzeit-Erfahrungen. Derzeit ist unklar, ob lange Standzeiten erzielt werden können und welcher Betriebs- und Instandhaltungsaufwand hierzu erforderlich ist. Mit Förderung des Landes NRW und in Kooperation mit der Technischen Hochschule Georg Agricola, Bochum arbeitet die Emschergerossenschaft an dem Forschungsvorhaben „Untersuchungen zu Standzeit und Regenerierfähigkeit vollgefüllter Dränagesysteme“. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, wissenschaftlich fundierte Bemessungs- und Instandhaltungskriterien für die in filtertechnisch schwierigen Böden geplanten, vollgefüllten horizontalen Fassungsanlagen zu erarbeiten, die zu Systemen mit einer möglichst langen Standzeit führen. Darüber hinaus soll geprüft werden, ob und inwiefern sich technische Entwicklungs- und Regenerierungsmaßnahmen standzeitverlängernd auswirken und welche Bemessungskriterien eine optimale technische Entwicklungs- und Regenerierfähigkeit während des Betriebes ermöglichen.

Im Rahmen des Vortrags werden das Forschungsvorhaben und die bereits vorliegenden Ergebnisse vorgestellt.

O 6.5; Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 16:45-17:00

Verfahren zur rückblickenden Untersuchung von bergbaulich unbeeinflussten Grundwasserflurabständen im Ruhrgebiet

Florian Werner¹, Johannes Meßer

¹ Emscher Wassertechnik GmbH

Kontakt: werner@ewlw.de

Der Flurabstand ist ein landschaftsprägendes Element, an den Ökosysteme und Nutzungsformen angepasst sind, Änderungen sind daher problematisch. Die Ursachen für Änderungen können vielfältig sein. Eine veränderte Flächennutzung kann ebenso die Grundwasserstände beeinflussen wie wasserbauliche Maßnahmen an Fließgewässern. Beide Ursachen treten in Deutschland nahezu flächendeckend auf. Die Auswirkungen werden in heutiger Zeit meist negativ wahrgenommen, sie sind im Hinblick auf die Verursachung aber ein Nebeneffekt unserer kulturellen Entwicklung, für die niemand zur Verantwortung gezogen werden kann. Ähnlich kann man die Veränderungen durch den bereits erfolgten Klimawandel auffassen.

Schwierig ist die Einordnung bei Veränderungen, die auf ein konkretes Handeln bestimmter Verursacher zurückzuführen sind, wie beispielsweise Veränderungen der Geländeoberfläche oder große Entnahmen aus dem Grundwasser. Unübersichtlich wird die Lage, wenn sich die Ursachen überschneiden, was beim Bergbau im Ruhrgebiet und der Verzahnung von Bergbaueinwirkung und städtebaulicher sowie wasserbaulicher Entwicklung sicher der Fall ist. Die Wirkung des Bergbaus auf den obersten Grundwasserleiter erfolgte im Wesentlichen durch Bergsenkungen, in Folge der Entnahme von Steinkohle in großen Tiefen. Dadurch entstehen Senkungsmulden, in denen die Oberfläche bis zu 20 m abgesenkt sein kann. Die Regelung der Entwässerung dieser Bereiche ist ein wesentlicher Teil der sog. Ewigkeitslasten des Bergbaus. Die mit der Oberfläche lokal abgesenkten Fließgewässer (Vorfluter) entwässern die Grundwasserleiter weiterhin, solange ihr Abfluss aus Tieflagen über Pumpwerke geregelt wird.

Die unterirdische Kanalisation ist an vielen Orten im Ruhrgebiet meist alterungsbedingt stark geschädigt und generiert durch eindringendes Grundwasser unerwünschtes Fremdwasser im Abwassersystem. Bei einer Abdichtung der Kanalisation kommt es in den Grundwasserleitern des obersten Stockwerkes zu einem Grundwasseranstieg. Die nachbergbaulich sich einstellenden Grundwasserstände wurden durch die undichte Kanalisation verschleiert, so dass den Bewohnern, Bauherren, Architekten und Grundwasserfachleuten die „wahren“ Grundwasserstände nicht bekannt waren.

Die Ermittlung des bergbaubedingten Einflusses ist jedoch wegen der Verflechtung verschiedenster Veränderungen nicht einfach durch den Vergleich mit historischen Messwerten möglich, sondern eine Epignose. Ein einzelner Standort kann sich im Vergleich mit und ohne (statt vor und nach) Bergbau sowohl trockener als auch feuchter darstellen. Mit einem Grundwassermodell können die Wirkungen der Eingriffe in das Grundwassergeschehen getrennt voneinander untersucht werden. Durch einen Vergleich der Flächen mit geringen Grundwasserflurabständen in Wohngebieten kann der Einfluss statistisch sichtbar gemacht werden. In dem Beitrag wird die Vorgehensweise zur Analyse bergbaubedingter Veränderungen und die Anforderungen an das zu verwendende Grundwassermodell erläutert.

O 6.6: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 17:00-17:15

Vermeidung höherer Grundwasserstände infolge von Deichrückverlegungen – Modellgestützte Quantifizierung und Konzeption von Gegenmaßnahmen am Beispiel der Isar südlich von Freising

Bettina Starke¹, Klaus Piroth¹, Marianne Glanzer², Stefan Fach²

¹ CDM Smith Consult GmbH

² Wasserwirtschaftsamt München

Kontakt: bettina.starke@cdmsmith.com

Im Rahmen des Vorbeugenden Hochwasserschutzes an der Mittleren Isar (Projektes des Freistaates Bayern Isar 2020) sind im Gewässerabschnitt der Isar von Gut Erching bis Freising Deichrückverlegungen vorgesehen. Derzeit verlaufen die bestehenden Deiche beidseitig mit ca. 100 bis 150 m Abstand zum Isarufer weitgehend parallel zum Flusslauf durch den Auwald. Durch Deichrückverlegungen an den Rand bzw. jenseits des Auwalds soll eine hydraulische und ökologische Verbesserung erzielt werden. Im Planungsgebiet befinden sich u.a. 4 Ortschaften und Einzelanwesen sowie naturschutzfachlich relevante und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Durch die Deichrückverlegungen werden die bestehenden Grundwasserverhältnisse im Vergleich zum Ist-Zustand beeinflusst, da sich die Ausdehnung der Isar bei Hochwasser vergrößert. Je nach örtlichen Gegebenheiten (Anbindung der Isar an das Grundwasser, Entfernung von der Isar, Flurabstand) kann es dabei zu höheren Grundwasserständen kommen, die dann die Gebäude, die Felder oder den Naturraum negativ beeinflussen können. Zur Quantifizierung dieser Beeinflussungen wurde zunächst auf Grundlage der vorhandenen Datenbasis ein konzeptionelles hydrogeologisches Standortmodell entwickelt und darauf aufbauend ein großräumiges 3-dimensionales Finite-Elemente-Grundwasserströmungsmodell erstellt und anhand realer Messwerte kalibriert. In dem ca. 60 km² großen, 7-schichtigen Modell mit insgesamt ca. 380.000 Modellknoten sind u.a. 5 maßgebliche Oberflächengewässer sowie die im Modellraum vorhandenen Grundwasserentnahmen abgebildet. Das kalibrierte Modell wurde anschließend für Prognoserechnungen bei Isarhochwasserabflüssen HQ5, HQ25 und HQ100 jeweils für den Bestand und den geplanten Zustand mit rückverlegten Deichen eingesetzt und hinsichtlich der Auswirkungen auf die Grundwassersituation und möglicher Deichunterströmung ausgewertet. Es zeigte sich, dass die Grundwasserverhältnisse durch die Deichrückverlegung insbesondere in Deichnähe in einigen Bereichen zum Teil signifikant beeinflusst werden und es zu höheren Grundwasserständen kommt. Mit dem Modell wurden durch Betrachtung verschiedener Szenarien erforderliche Ausgleichsmaßnahmen zur Reduzierung dieser Beeinflussungen untersucht und so als Grundlage für die weitere Planung bereitgestellt. Wesentlicher Vortragsinhalt ist die Darstellung der Herangehensweise in Bezug auf Aufbau, Kalibrierung und Einsatz des Grundwassermodells, der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse u.a. hinsichtlich der maximalen Grundwasserstände und der Deichunterströmung sowie das Zusammenspiels zwischen Deichplanung und Modellierung, z.B. Ausbildung der Deiche mit/ohne Spundwand. Das Projekt zeigt beispielhaft, wie ein Grundwassermodell als Prognoseinstrument im Rahmen wasserbaulicher Planungen eingesetzt werden kann.

Poster

P 6.1

Flurabstandsprognose nach Grundwasserwiederanstieg: Berechnung von Bodenbewegungen im Rheinischen Braunkohlenrevier

Anke Boockmeyer¹, Christoph Weidner¹

¹ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW

Kontakt: anke.boockmeyer@lanuv.nrw.de

Die für die Trockenhaltung der Tagebaue des Rheinischen Braunkohlenreviers notwendigen Entwässerungsmaßnahmen führen unter anderem zu einer großräumigen Grundwasserabsenkung. Die Absenkungen sind mit mehreren hundert Metern im Bereich der Tagebaue maximal und nehmen mit zunehmender Entfernung von ihnen ab. Von der Absenkung sind mehrere Grundwasserstockwerke betroffen. In tieferen Stockwerken findet teilweise nur eine Entspannung des Druckspiegels statt, während oberflächennahe Stockwerke zum Teil trocken fallen. Dadurch wird den geologischen Schichten das Wasser entzogen und der Auftrieb entfällt. Als Folge der Entwässerung treten Geländesetzungen auf, die derzeit im direkten Tagebaumfeld maximal 4,5 Metern betragen und wie die Grundwasserabsenkung mit zunehmender Entfernung vom Tagebau abnehmen (Abb. 1). Neben dem Ausmaß der Grundwasserabsenkung sind die Geländesetzungen abhängig vom geologischen Aufbau des Untergrunds und der Zusammensetzung der geologischen Schichten. Während der Porenwasserdruck in nicht-bindigen Schichten aufgrund der hohen k_f -Werte unmittelbar nach der Entwässerung abnimmt, baut sich in bindigen Schichten ein Porenwasserüberdruck auf. Dieser baut sich zeitlich verzögert in Abhängigkeit des k_f -Werts und der Schichtdicke ab, sodass die Konsolidierungszeit in

den bindigen Schichten vergleichsweise größer und die daraus resultierende Setzung langsamer ist. In mächtigen bindigen Schichten kann die Konsolidierung auch nach Ende der Entwässerungsmaßnahmen noch andauern.

Mit dem Ende des Braunkohleabbaus steigt das Grundwasser etwa ab der Mitte dieses Jahrhunderts auch weiträumig wieder an. Dies führt in den von Geländesetzungen betroffenen Gebieten zu Geländehebungen. Bislang ist jedoch noch unzureichend bekannt, welche Geländehöhen und Abstände zur Grundwasseroberfläche (Flurabstände) sich einstellen und ob in Gebieten mit ehemals geringem Flurabstand und gleichzeitig größeren Bodenbewegungen Geländevernässungen auftreten werden.

Das Ziel dieser Studie ist daher die Prognose von Bodenbewegungen sowie der zukünftigen Geländehöhen. Die Untersuchungen werden beim LANUV NRW und Auftragnehmern durchgeführt. Die punkthafte Prognose erfolgt auf Grundlage eines bodenmechanischen Modells, das die Konsolidationsvorgänge unter Berücksichtigung des geologischen Schichtprofils und der Grundwasserganglinien aller von Entwässerung betroffenen Stockwerke berechnet (Ziegler, 2016). Durch Interpolation der Ergebnisse soll anschließend eine flächenhafte Geländeoberkante prognostiziert werden. Diese wird bei der Grundwassermodellierung zur Ermittlung von Flurabständen und daraus resultierenden potenziellen Vernässungsgebieten eingesetzt (Weidner et al., 2017).

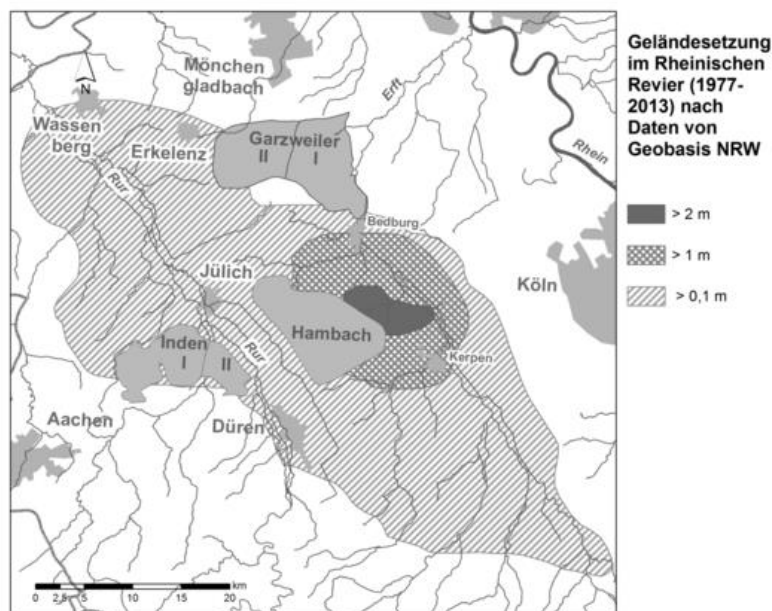


Abb 1: Geländesetzung im Rheinischen Revier von 1977 bis 2013 (Datengrundlage: Geobasis NRW)

Literatur

Weidner, C., Boockmeyer, A., Hüsener, D. & Levacher, D. (2017): Grundwassermodellierung für die Prognose von Flurabständen im Rheinischen Braunkohlenrevier – Kurzfassung für die Tagung der FH-DGGV 2018 in Bochum

ZIEGLER, M. (2016): Modellierung und Prognose der aus Grundwasserabsenkung und Grundwasserwiederanstieg resultierenden Bewegungen der Geländeoberkante. – World of Mining – Surface & Underground 68(2): 80-89

P 6.2

Grundwassermodellierung für die Prognose von Flurabständen im Rheinischen Braunkohlenrevier

Christoph Weidner¹, Anke Boockmeyer¹, Dorothee Levacher¹, Dirk Hüsener¹

¹ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz LANUV NRW
Kontakt: christoph.weidner@lanuv.nrw.de

Zur Trockenförderung von Braunkohle in den Tagebauen des Rheinischen Reviers ist es erforderlich, die Grundwasserdruckhöhe aller Lockergesteinsaquifere im Bereich der Tagebaue abzusenken, um so die Böschungs- und Sohlsta-

bilität in den Tagebauen zu gewährleisten. Im Zuge dieser Grundwasserabsenkungen kommt es zu teilweise reversiblen, meist großräumigen Geländesenkungen durch Setzung und zeitlich verzögerte Konsolidierung der nichtbindigen und bindigen Lockergesteinseinheiten (Boockmeyer und Weidner, 2017; Giese, 2010). Für den Zeitraum nach Abbauende, bzw. während und nach Abschluss des Grundwasserwiederanstiegs bis zum stationären Endzustand ist zu untersuchen, inwiefern sich die räumliche Verteilung der Grundwasserflurabstände im Vergleich zu einem bergbauunbeeinflussten Zustand verändern wird.

Zur Abschätzung potenzieller Vernässungsbereiche sowie einer Ursachenanalyse kommt ein Grundwassermodell des LANUV zum Einsatz. Das Modell erstreckt sich über drei geologisch-tektonische Schollen (Erftscholle, Rurscholle, Venloer Scholle), in denen sich die aktiven Tagebaue Hambach, Inden und Garzweiler befinden (Abb. 1). Seit Mitte der 1980er Jahre wurden am LANUV Gw-Modelle der drei einzelnen Teilschollen aufgebaut, in 2007 zu einem gemeinsamen FeFlow-3D-Modell zusammengefügt, und für verschiedene Fragestellungen stetig fortentwickelt. Dabei werden alle hydrogeologisch relevanten Schichten vom obersten Grundwasserleiter bis ins Liegende der tiefsten abgebauten Flöze erfasst. Der Zeitraum für die instationäre Kalibrierung reicht derzeit von 1975-2013. Für die darauf aufbauenden stationären oder instationären Prognoserechnungen ist es nötig, die Eingangsdaten (Geologie, Geländeoberkante, Gw-Neubildung, Tagebaue, Gw-Förderungen und -Infiltrationen, Gewässer, ...) auf die jeweilige Fragestellung anzupassen.

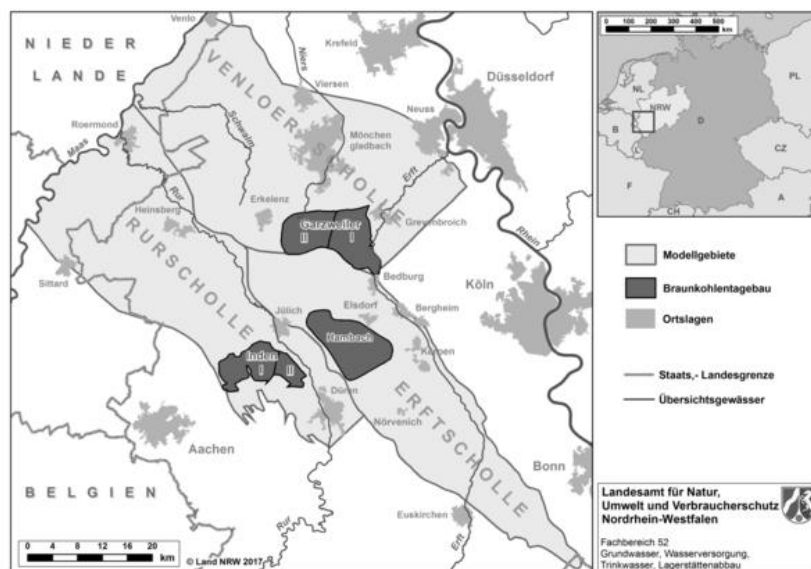


Abb. 1: LANUV-Großraummodell des rheinischen Braunkohlenreviers

Zur Prognose von Flurabständen im Rheinischen Revier werden die Ergebnisse der Modellrechnungen wie folgt eingesetzt: Einerseits werden die für den Prognosezeitraum (2017 bis ca. 2200) berechneten Grundwasserstände als Eingangsdaten für die eindimensionale Berechnung von Bodenbewegungen an einigen Einzelpunkten im Braunkohlenrevier (Boockmeyer und Weidner, 2017) benötigt. Andererseits werden unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Bodenbewegungsmodells Grundwasserstände und Flurabstände prognostiziert, wobei zur Ermittlung potenzieller Vernässungsgebiete und zur Ursachenanalyse verschiedene Varianten berechnet werden.

Die Arbeiten werden von der Arbeitsgruppe „Flurabstandsprognose“ unter der Federführung des LANUV NRW und unter Beteiligung von NRW-Landesministerien (MULNV, MWIDE), Bergbehörde, Geologischem Dienst NRW und Erftverband sowie des Bergbautreibenden und Interessens- und Kommunalvertretern durchgeführt und einem übergeordneten Beratungsgremium unter Federführung des Landesumweltministeriums NRW (MULNV) berichtet. Weitere Informationen sind verfügbar unter: www.lanuv.nrw.de/grundwasserwiederanstieg

Literatur

- Boockmeyer, A. & Weidner, C. (2017): Bodenbewegungsberechnungen für die Prognose von Flurabständen im Rheinischen Braunkohlenrevier. – Kurzfassung zur Tagung der FH-DGGV 2018 in Bochum.
- Giese, S. (2010): Bodenbewegungen infolge von Sumpfungmaßnahmen für tiefe Tagebaue am Beispiel des Rheinischen Braunkohlenreviers. – Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen, Schriftenreihe Geotechnik im Bauwesen 6/2010, 298 S.

7 Grundwassertemperaturen im urbanen Raum – Monitoring, Management und Prozessverständnis anthropogener Einflussfaktoren

Vorträge

O 7.1: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 11:30-11:45

Globale Grundwassertemperaturen: direkte und indirekte Messungen

Susanne A. Benz¹, Peter Bayer², Philipp Blum¹

¹ Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

² Technische Hochschule Ingolstadt (THI)

Kontakt: peter.bayer@thi.de

Die oberflächennahen Grundwassertemperaturen im urbanen und ländlichen Raum sind weltweit größtenteils unbekannt, da direkte Messungen lediglich in einer limitierten Anzahl an Messpunkten, wie etwa in Brunnen und Quellen, möglich sind. Forscher arbeiten daher oft nur mit Schätzungen. Typischerweise wird hierfür ein fester Wert – im Folgenden Offset genannt – zu der jahresdurchschnittlichen Lufttemperatur hinzuaddiert. Allerdings ist der genaue Betrag dieses Offsets nicht klar definiert. In dieser Arbeit wird nun die Verwendung von Landesoberflächentemperaturen statt Lufttemperaturen vorgeschlagen, da die von Satelliten erfassten Landesoberflächentemperaturen weltweit und flächendeckend verfügbar sind. Anhand von 2.548 globalen Grundwassermessstellen in 29 Ländern wird der Offset zwischen Landesoberflächen- und Grundwassertemperatur bestimmt (Benz et al. 2017).

In 83 % der analysierten Messstellen ist das Grundwasser wärmer als die Temperaturen an der Oberfläche. Im Schnitt beträgt der Offset 1,2 K, er reicht aber von -6,1 K in der Black Rock Desert, einer trockenen Wüste im nordwestlichen Teils Nevadas (USA) bis hin zu 11,0 K an einer Messstelle bei Erdenet, einer Stadt in der Mongolei. Dieser hohe Offset lässt sich vermutlich auf anthropogen verursachten Wärmetransport zurückführen: In diesem Fall befindet sich das weltweit viertgrößte Kupferbergwerk in unmittelbarer Nähe zur Grundwassermessstelle.

Trotz dieser extremen Beispiele korrelieren Grundwassertemperatur und Landesoberflächentemperatur sehr gut miteinander; das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt 0,90. Im direkten Vergleich zeigt sich, dass die größten Unterschiede zwischen Grundwassertemperatur und Landesoberflächentemperatur sowohl in den wärmsten als auch in den kältesten Gebieten der Erde zu finden sind. Diese überdurchschnittlich hohen Offsets werden zum einen durch Evapotranspiration, zum anderen durch eine geschlossene Schneedecke verursacht. Evaporation beeinträchtigt auf Grund der Verdunstungskälte das Energiegleichgewicht der Erdoberfläche und kühlt somit gemessene Landesoberflächentemperaturen ab. Eine geschlossene Schneedecke hingegen isoliert die vom Sommer erwärmte Grundwassertemperaturen den Winter hindurch vor kalten Temperaturen an der Oberfläche und erhöht demzufolge die Jahresdurchschnittstemperaturen im Grundwasser. Der globale Offset zwischen Grundwassertemperaturen und satellitenerfassten Landesoberflächentemperaturen kann letztlich als Superposition beider Effekte beschrieben und durch eine lineare Anpassung quantifiziert werden. Es zeigt sich, dass das Offset für jeden Millimeter pro Jahr an Evapotranspiration um $1 \cdot 10^{-3}$ K ansteigt und um jeden Schneetag im Jahr um 0,02 K pro erhöht wird. Da sowohl Landesoberflächentemperaturen, Evapotranspiration und Anzahl der Schneetage als weltweite Datensätze zur Verfügung stehen, ist es also möglich, globale oberflächennahe Grundwassertemperaturen in einer Auflösung von $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ verlässlich abzuschätzen.

Literatur

Benz, S.A., Bayer, P. & Blum, P. (2017): Global patterns of shallow groundwater temperatures. – Environ. Res. Letters, 12:034005.

O 7.2: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 11:45-12:00

Monitoring- und Modellierwerkzeuge als Basis für eine thermische Bewirtschaftung urbaner Grundwasserkörper der Stadt Basel, Schweiz

Matthias H. Müller¹, Jannis Epting¹, Peter Huggenberger¹

¹ Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel

Kontakt: matthias.mueller@unibas.ch

Aufgrund zahlreicher anthropogener Einflüsse, wie der Oberflächenversiegelung und Kellereinbauten, die ins Grundwasser reichen, können die Temperaturen im oberflächennahen Untergrund in urbanen Grundwasserkörpern im Vergleich zu einem potenziellen natürlichen thermischen Zustand erhöht sein. Neben qualitativen Auswirkungen auf das Grundwasser kann die Ausbildung von sogenannten urbanen Wärmeinseln die steigende Nachfrage an Nutzungen des Grundwassers zu Kühlzwecken einschränken. Andererseits kann die in den Untergrund eingetragene Abwärme als potenzielle Energiequelle für städtische Quartiere betrachtet werden. Für ein effizientes Management der oberflächennahen Ressourcen Wasser und Energie werden deshalb Werkzeuge benötigt, mit denen das thermische Regime unter Berücksichtigung der vielfältigen Prozesse und Interaktionen (z.B. Wärmeeinträge durch Gebäude, Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser etc.) adäquat abgebildet und evaluiert werden kann.

Um die potenziell nutzbare thermische Energie in einzelnen Quartieren quantifizieren zu können, wurden für die Stadt Basel (Schweiz) Temperatur-Monitoringsysteme sowie numerische Grundwasserströmungs- und Wärmetransportmodelle entwickelt. Mit diesen Werkzeugen lassen sich, unter Berücksichtigung instationärer hydraulischer und thermischer Randbedingungen sowie räumlich variabler Aquiferparameter, der thermische Istzustand, sowie Grundwasser- und Wärmeströme in verschiedenen Teilgebieten der Stadt Basel erfassen. Dadurch wird es ermöglicht, thermische Nutzungspotenziale in handhabbaren Teilbereichen urbaner Grundwasserkörper zu quantifizieren und diese bei energietechnischen Planungen in der Entwicklung einzelner Quartiere mit zu berücksichtigen.

O 7.3: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 12:00-12:15

Dimensionierungsanalyse und Bestimmung der Umweltauswirkungen geothermischer Energiespeicher im urbanen Untergrund

Sebastian Bauer¹, Jens Olaf Delfs¹, Anke Boockmeyer¹, Bo Wang¹, Andreas Dahmke¹, Christof Beyer¹

¹ Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Kontakt: sebastian.bauer@ifg.uni-kiel.de

Für die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energiequellen im Zuge der Energiewende werden neue Methoden und Technologien zur Energiespeicherung benötigt. Geothermische Wärmespeicher im urbanen Untergrund können dabei zu einer erneuerbaren und ökologischen zukünftigen Wärmeversorgung beitragen. Für die Nutzung dieser Wärmespeicher ist ein ausreichendes System- und Prozessverständnis erforderlich, um die induzierten Prozesse und komplexen Auswirkungen im Untergrund vorhersagen und bewerten zu können. Dieses Prozessverständnis erlaubt eine quantitative Prognose der Umweltauswirkungen als auch eine Bestimmung des unterirdischen Raumbedarfs solcher Wärmespeicher und trägt so zu einer nachhaltigen Nutzung des städtischen Untergrunds bei.

Dieser Beitrag beschreibt eine Methodik zur Quantifizierung der Umweltauswirkungen solcher Wärmespeicher, die eine Dimensionierungsanalyse, eine Wirkungsanalyse und die anschließende Ausweisung des Raumbedarfs der Wärmespeicherung umfasst. Der Raumbedarf wird dazu in die Kategorien Nutzungsraum, Wirkungsraum und Beobachtungsraum differenziert, die jeweils gesondert ausgewiesen werden können. Aufgrund dieser Raumbeanspruchungen können Nutzungskonflikte identifiziert und Wirkungsbereiche bestimmt werden. Die thermischen Wirkungsbereiche können als Grundlage für eine Prognose der Temperaturveränderungen im urbanen Untergrund dienen und somit ein Management der Untergrundtemperaturen unterstützen.

Beispielhaft demonstriert wird dieser Ansatz anhand von synthetisch ausgeführten Szenariensimulationen für großtechnische Wärmespeicher im städtischen Untergrund. Hierzu werden typische Situationen aus dem norddeutschen Raum parametrisiert und durch numerische Simulation der gekoppelten nichtisothermen Strömungs- und Wärmetransportprozesse die Speichercharakteristiken und die Ausbreitung der Wärme als auch induzierte hydraulische Effekte quantifiziert.

Literatur

Bauer, S., Beyer, C., Dethlefsen, F., Dietrich, P., Duttmann, R., Ebert, M., Feeser, V., Görke, U., Köber, R., Kolditz, O., Rabbel, W., Schanz, T., Schäfer, D., Würdemann, H. & Dahmke, A. (2013): Impacts of the use of the geological subsurface for energy storage: An investigation concept. *Environ Earth Sci* in print, DOI 10.1007/s12665-013-2883-0.

Kabuth, A., Dahmke, A., Beyer, C., Bilke, L., Dethlefsen, F., Dietrich, P. & Bauer, S. (2017): Energy storage in the geological subsurface: dimensioning, risk analysis and spatial planning: the ANGUS+ project. *Environmental Earth Sciences*, 76(1), 23. doi:10.1007/s12665-016-6319-5.

O 7.4: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 12:15-12:30

Dimensionierung und thermische Auswirkungen von Erdsondewärmespeichern

Anke Boockmeyer¹, Sebastian Bauer¹

¹ Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Kontakt: sebastian.bauer@ifg.uni-kiel.de

Für die verstärkte Nutzung fluktuierender erneuerbare Energien zur Energie- und Wärmeversorgung werden neue Methoden zur Energiespeicherung benötigt. Dafür bieten sich insbesondere oberflächennahe Erdsondewärmespeicher im geologischen Untergrund an, in denen Wärme aus Solarthermie, industrielle Abwärme oder überschüssige Energie der Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien im großen Maßstab gespeichert und zur Wärmeversorgung von Wohnhäusern bzw. -siedlungen verwendet werden kann (Bauer et al., 2013). Um die bei der Wärmespeicherung induzierten Speicherprozesse und Auswirkungen prognostizieren und bewerten zu können, müssen die im Speicher und im Speicherumfeld ablaufenden gekoppelten Prozesse untersucht und quantifiziert werden.

In dieser Arbeit werden die Speichercharakteristika und Temperatúrauswirkungen unterschiedlich großer Speicher mit identischer Sondenanzahl anhand numerischer Szenariensimulation eines synthetischen oberflächennahen Erdsondewärmespeichers im typischen norddeutschen Lockergesteins-Untergrund untersucht. Durch Variation von Speicherbetrieb, thermischen Eigenschaften des Untergrunds und Abstand der Erdwärmesonden wird der Einfluss dieser Parameter auf die Speicherkapazität, die Speicherraten sowie das Temperaturniveau im Speicher und die Temperaturausbreitung untersucht. Anhand eines vereinfacht vorgegebenen saisonalen Speicherbetriebs konnten so optimale Sondenabstände für eine typische Spannweite von thermischen Untergrundeigenschaften ermittelt werden. Zur effizienten numerischen Prozesssimulation werden dabei Methoden nach Boockmeyer und Bauer (2016) eingesetzt.

Es zeigt sich, dass die Speichertemperaturen in Speichern mit einem geringen Sondenabstand von 2 m während der Wärmeeinspeicherung schneller und auf höhere Werte ansteigen als in Speichern mit Sondenabständen von 5 m. Daher sinkt die Einspeicherrate für geringe Sondenabstände vergleichsweise schneller ab und die erreichbare Wärmekapazität ist vergleichsweise geringer. Zusätzlich ist der Wärmeverlust aufgrund des größeren Oberflächen-Volumen-Verhältnisses vergleichsweise höher und der Rückgewinnungsgrad dadurch geringer. Für große Sondenabstände von 8 m hingegen sind die Speichertemperaturen vergleichsweise geringer und die Einspeicherrate nimmt langsamer ab, wodurch mehr Wärme eingespeichert werden kann. Jedoch verbleibt auch aufgrund der größeren Sondenabstände mehr Wärme im Untergrund, sodass die erreichbare Wärmekapazität und der Wärmerückgewinnungsgrad kleiner sind als im Fall geringerer Sondenabstände.

Aufgrund der unterschiedlichen Sondenabstände werden auch unterschiedlich große räumliche Bereiche im Untergrund durch den Wärmespeicher genutzt bzw. von der Temperaturerhöhung durch die Verlustwärme beeinflusst. Mit zunehmendem Sondenabstand nehmen die Ausdehnungen von Nutzungs- sowie Auswirkungsraum demnach zu. Da jedoch das Oberfläche-Volumen-Verhältnis mit zunehmendem Sondenabstand abnimmt, nimmt damit auch das Verhältnis von Auswirkungs- zu Nutzungsraum ab.

Literatur

- Bauer, S., Beyer, C., Dethlefsen, F., Dietrich, P., Duttmann, R., Ebert, M., Feeser, V., Görke, U., Köber, R., Kolditz, O., Rabbel, W., Schanz, T., Schäfer, D., Würdemann, H. & Dahmke, A. (2013): Impacts of the use of the geological subsurface for energy storage: An investigation concept. *Environ Earth Sci* 70(8), 3935–3943, DOI 10.1007/s12665-013-2883-0.
- Boockmeyer, A. & Bauer, S. (2016): Efficient simulation of multiple borehole heat exchanger storage sites. *Environmental Earth Sciences*, 75:1021. doi: 10.1007/s12665-016-5773-4.

O 7.5: Vortragsreihe 3, 23.03.2018, 12:30-12:45

Experimentelle und numerische Untersuchung der Umweltauswirkungen eines skalierbaren, modularen Wärmespeichersystems

Johannes Nordbeck¹, Sebastian Bauer¹, Christof Beyer¹, Constantin Kinias², Thomas Vienken³

¹ Uni Kiel

² Scheer Heizsysteme und Produktionstechnik GmbH

³ UfZ Leipzig

Kontakt: johannes.nordbeck@ifg.uni-kiel.de

Die geologische Wärmespeicherung kann ein zentraler Aspekt einer Wärmewende als Beitrag zur Energiewende sein, da sie den zeitlichen Versatz zwischen Produktion von Wärmeenergie aus regenerativen Quellen und Wärmebedarf vermitteln und die Wärme saisonal speichern kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die simulationsgestützte Planung und Bewertung eines skalierbaren, modularen Wärmespeichersystems vorgestellt und die durch den Betrieb induzierten thermischen Auswirkungen als Wärmeemissionen und Temperaturerhöhung im oberflächennahen Untergrund in Speichernähe quantifiziert. Ein Prototyp dieses Speichersystems wird als Versuchsanlage in Schleswig-Holstein derzeit im Speicherbetrieb getestet. Die Testanlage besteht aus 25 jeweils 1,5 m³ großen Speichermodulen, die in einem 5 mal 5 Raster angeordnet sind. Sie sind jeweils aus einem spiralförmigen Wärmetauscher und einem thermischen Verbundbaustoff als Speichermedium aufgebaut. So kann der Speicher modular flexibel auch als Fundament und im Untergrund eingesetzt werden. Der Testspeicher besitzt Abmessungen von 5 mal 5 m² und ist zwischen 0,25 und 1,85 m Tiefe installiert. Beladen und Entladen wird der Speicher durch ein regelbares Wärmebad mit eingebauter Pumpe. Zur Überwachung des Speichers ist ein Temperaturmonitoring installiert worden, welches Temperaturen innerhalb, seitlich sowie ober- und unterhalb des Wärmespeichers kontinuierlich aufnimmt.

Mit einer Vorlauftemperatur von 60°C wurde der Wärmespeicher während des Testbetriebs 60 Tage beladen. Anhand numerischer Simulationen wurde eine Prognose der thermischen Auswirkungen in der Speicherumgebung und der Wärmeemissionen aus dem Speicher in den oberflächennahen Untergrund erstellt. Diese ergaben einen Wärmeverlust von im Mittel 1500 W, wobei die Hälfte des Wärmeverlusts über die Speicheroberseite anfällt. Ebenso wurde berechnet, dass 5 m unterhalb des Wärmespeichersystems die Temperaturerhöhung im Untergrund 5°C auch langfristig nicht übersteigt.

Die Ergebnisse der Modellsimulationen werden mit den im Testbetrieb bestimmten Werten aus dem Temperaturmonitoring verglichen und dienen somit der Verifizierung der Auswirkungsprognose und der Überprüfung der Speichercharakteristiken wie Speicherraten und Speicherkapazität. Als Vergleichswerte dienen dabei die Temperaturdurchbruchkurven zu allen Seiten des Speichers, sowie die Wärmebilanz über Vor- und Rücklauftemperaturen und Durchflussraten.

Literatur

- Nordbeck, J., Beyer, C. & Bauer, S. (2017): Experimental and numerical investigation of a scalable modular geothermal heat storage system. *Energy Procedia* Vol. 125 S. 604-611, DOI 10.1016/j.egypro.2017.08.217.

Poster

P 7.1

Kritische Betrachtung räumlich und zeitlich hochaufgelöster Grundwassertemperaturmessungen im urbanen Raum – Fehlerquellen und Einflussfaktoren

Manuel Kreck¹, Thomas Vienken¹

¹ Department Monitoring- und Erkundungstechnologien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
Kontakt: manuel.kreck@ufz.de

Die hochaufgelöste Erfassung von Grundwassertemperaturen ist Grundlage und Herausforderung zugleich, wenn es darum geht, ein belastbares Datenfundament für die Bewertung thermischer Einflüsse auf Grundwasserkörper zu gewährleisten. Durch die steigende Relevanz und der damit verbundenen Notwendigkeit zur Erfassung präziser Temperaturdaten im Untergrund, findet auch eine zunehmende Anwendung von entsprechenden Temperaturmessungen statt. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Messtechnik ermöglicht darüber hinaus eine zunehmende Nutzung in Forschung und Praxis.

Allerdings wird das Temperaturmonitoring in Grundwassermessstellen durch verschiedene Faktoren beeinflusst. In diesem Zusammenhang ist die kritische Einordnung der ermittelten Temperaturen in Bezug auf Messmethode und Randbedingungen entscheidend. Eine Auswahl an Fallbeispielen soll zeigen, inwieweit gemessene Grundwassertemperaturwerte beeinflusst werden können und wo mögliche Fehlerquellen liegen, um damit die Notwendigkeit eines geeigneten Monitoringkonzepts für die Erfassung repräsentativer Grundwassertemperaturen im urbanen Raum zu verdeutlichen. Eine hohe Genauigkeit und Stabilität der verwendeten Sensoren sind dafür die Grundlage. Allerdings können der Ausbau und die Beschaffenheit der verwendeten Messstellen die ungestörte Untergrundtemperatur wesentlich beeinflussen. Um die gemessenen Temperaturen im Kontext zu betrachten und daraus tatsächliche räumliche Verteilungen abzuleiten, müssen dazu die konkreten Standortbedingungen am Messpunkt berücksichtigt werden.

P 7.2

Räumlich und zeitlich hochaufgelöstes Grundwassertemperaturmonitoring in einem Wohnquartier mit starker oberflächennaher geothermischer Nutzung – Erkenntnisse und Lehren

Thomas Vienken¹, Manuel Kreck¹, Peter Dietrich¹

¹ UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
Kontakt: thomas.vienken@ufz.de

Zur Erfassung möglicher Grundwassertemperaturänderungen durch die intensive Nutzung oberflächennaher Geothermie wurde in enger Kooperation mit dem Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln ein räumlich und zeitlich hochaufgelöstes Grundwassertemperaturmonitoring in einem Wohngebiet im Kölner Westen mit starker oberflächennaher geothermischer Nutzung initiiert. Aufgrund der hohen Nutzungsdichte, der geringen Installations-tiefen der hauptsächlich verbauten Erdwärmesonden sowie der überwiegenden Nutzung zu Heizzwecken ist das ausgewählte Wohngebiet sehr gut für ein entsprechendes Monitoring geeignet. Dafür wurden insgesamt 7 Grundwassertemperaturmessstellen sowie zwei Bodentemperaturmessstellen installiert und mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet. Gegenüber den Anstromtemperaturen zeigen die Messreihen in den drei Abstrommessstellen eine leichte Abnahme der gemessenen Grundwassertemperaturen, die sich auf die geothermische Nutzung zurückführen lässt. Interessant dabei ist, dass sich die über einen Zeitraum von ca. 4 Jahren gemessenen Temperaturverläufe mit Ausnahme der zwei Anstrommessstellen deutlich unterscheiden. Daher muss hinterfragt werden, wie repräsentativ gemessene Grundwassertemperaturen im urbanen Raum sind und welche Anforderungen an die Standortwahl und den Ausbau von Grundwassertemperaturmessstellen im urbanen Raum gestellt werden sollten.

Das Projekt TEACHENER – Integration sozialwissenschaftlicher Inhalte in die Ausbildung von Naturwissenschaftlern in der Energieforschung

Thomas Vienken¹, Alena Bleicher¹

¹ UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Kontakt: thomas.vienken@ufz.de

Viele Aufgaben der Energieforschung, wie die Reduzierung von CO₂-Emissionen, der Kampf gegen den Klimawandel, die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen oder die Energiespeicherung stellen heute viel mehr als nur rein technische Fragestellungen dar. Häufig haben sich hieraus komplexe Themenbereiche entwickelt, die in einen breiteren sozialen und auch ethischen Kontext gestellt werden müssen. Dies stellt neue Anforderungen an Naturwissenschaftler, die bereits in der universitären Ausbildung berücksichtigt werden müssen. Vor diesem Hintergrund hat sich das Projekt TEACHENER das Ziel gesetzt, Impulse zur Stärkung der sozialwissenschaftlichen Ausbildung von Studierenden und Doktoranden der Naturwissenschaften im Bereich der Energieforschung zu setzen. Im Rahmen von TEACHENER werden interdisziplinäre Lehrmodule zu zentralen Fragestellungen wie ethischen Aspekten, aber auch zu konkreten Themen wie Konfliktmanagement oder Technikfolgenabschätzung (beispielsweise im Rahmen der Nutzung oberflächennaher oder tiefer Geothermie), Beteiligung der Öffentlichkeit in energierelevanten Fragestellungen oder die Anwendung sozialer Nachhaltigkeitsbewertung erstellt und Lehrenden frei zur Verfügung gestellt. Das Projekt TEACHENER ist ein strategischer Verbund von sieben Projektpartnern aus vier verschiedenen Ländern mit Experten aus den Bereichen der Sozial- und Naturwissenschaften. Wir präsentieren erste Ergebnisse und bieten einen Überblick über die geplanten Lehrmodule zum Thema Geothermie. Weitergehende Informationen zum Projekt sowie die am Ende des Projektes frei verfügbaren Lehrmodule finden sich unter www.teachener.eu.

8 Karstgrundwasserleiter – Neue Entwicklungen und Methoden in der Charakterisierung und Modellierung dualer Fließsysteme

Poster

P 8.2

Prognose von karstbedingten Gefährdungen im Tunnelbau mit der KarstALEA-Methode: Fallbeispiel Tunnel Alabastieg

Christoph Butscher¹, Maximilian Wunderle², Luisa Künemund³, Philipp Blum⁴

¹ Ingenieurgeologie und Umweltgeotechnik, TU Bergakademie Freiberg

² Max Bögl, Stiftung & Co. KG

³ Krebs & Kiefer Ingenieure GmbH

⁴ Karlsruher Institut für Technology (KIT), Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)

Kontakt: christoph.butscher@ifgt.tu-freiberg.de

Karsterscheinungen führen im Tunnelbau zu typischen Gefährdungen durch Hohlräume, Sedimenteintritte und Wasserzutritte. In der Baupraxis gelten Karstgebiete als schwer prognostizierbarer Baugrund, da die Verkarstung heterogen verteilt ist. Für die Planung und Durchführung von Tunnelprojekten in Karstgebieten ist es erforderlich, Häufigkeit, Art und Intensität von Verkarstungserscheinungen zielführend prognostizieren zu können. Filipponi et al. (2012) haben dazu die KarstALEA-Methode entwickelt, die der Prognose von karstspezifischen Gefährdungen im Tunnelbau dient. Die Methode geht davon aus, dass Karsterscheinungen nicht zufällig verteilt sind, sondern sich aus der Entwicklungsgeschichte des Karstsystems ergeben und an Initialfugen gebunden sind. Durch eine Analyse der Faktoren, die die Karstentwicklung steuern, können Karsterscheinungen prognostiziert werden. Der vorliegende Beitrag zeigt eine modifizierte/vereinfachte Anwendung der KarstALEA-Methode am Tunnel Alabastieg auf der Neubaustrecke Wendlingen-Ulm der Deutschen Bahn, basierend auf Informationen der Ausschreibungsunterlagen. Die 2D-Prognosen der KarstALEA-Methode werden mit den während des Baufortschritts angetroffenen Karsterscheinungen verglichen. Die KarstALEA-Methode erlaubte in diesem Fallbeispiel eine verbesserte und detailliertere Abschätzung der zu erwartenden karstbedingten Gefährdungen im Vergleich zu einer Prognose, welche lediglich auf einer Auswertung der vor Baubeginn durchgeführten Erkundungsbohrungen beruhte. Die Studie zeigt, dass eine Planung von Tunnelprojekten hinsichtlich der Ausprägung der Karststrukturen und der daraus resultierenden Gefährdung durch die KarstALEA-Methode verbessert werden kann, indem Bereiche mit erhöhtem Karstrisiko vortriebsbezogen prognostiziert werden können.

Literatur

Filipponi, M., Schmassmann, S., Jeannin, P.Y. & Parriaux, A. (2016): KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagebau. Forschungsprojekt FGU 2009/003, Zürich, 200 pp

Anwendung eines innovativen geologischen Modellierungsansatzes in der Karsthydrogeologie

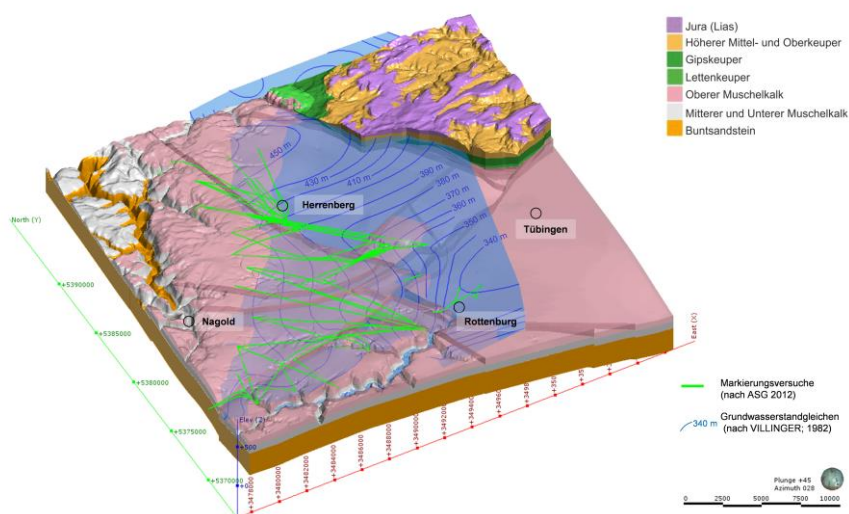
Fernando Mazo D'Affonseca¹, Hermann Rügner¹, Michael Finkel¹, Karsten Osenbrück¹, Olaf Cirpka¹

¹ Zentrum für Angewandte Geowissenschaften (ZAG), Universität Tübingen

Kontakt: fernando.mazo-daffonseca@uni-tuebingen.de

Karstgrundwasserleiter sind bedeutende Trinkwasserspeicher und werden auch in Deutschland häufig für die Wasserversorgung genutzt. Aufgrund ihrer Vulnerabilität und der meist komplexen Fließverhältnisse ist die Kenntnis der geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten von großer Bedeutung. Im Rahmen einer Pilotstudie zu möglichen Auswirkungen des Gesteinsabbaus in Trinkwasserschutzgebieten wurden die Fließverhältnisse im Muschelkalkkarst des Oberen Gäus in Baden-Württemberg genauer untersucht. In erster Linie sollten mögliche Gefährdungspotentiale, die auf den Betrieb der dort aktiven Steinbrüche zurückgehen, mittels regionaler Grundwasserströmungs- und Transportmodelle quantifiziert und bewertet werden. Die geklüfteten Kalk- und Dolomitsteine des 80 bis 90 m mächtigen Oberen Muschelkalks sind dort unregelmäßig verkarstet und bilden zusammen mit den 10 bis 12 m mächtigen porösen bis kavernen Oberen Dolomiten des darunterliegenden Mittleren Muschelkalks den Hauptgrundwasserleiter. Im basalen Bereich des Oberen Muschelkalks wird der Karstaquifer durch die 6 bis 8 m mächtige Kalkstein-Tonsteinsfolge der Haßmersheimer Schichten hydraulisch getrennt (Villinger, 1982; Ufrecht, 2006). Störungen der dortigen Bruchtektonik leiten CO₂ aus dem tieferen Bereich der Erdkruste ein, was die Verkarstung entlang von Störungen vermutlich begünstigt (Harress, 1973).

Um mögliche Einschränkungen, die sich aus der Systemgeometrie und den Randbedingungen ergeben können, bei der Auswahl und Anwendung der Strömungs- und Transportmodelle besser einschätzen zu können, wurde ein verfeinertes Strukturmodell mit der 3D geologischen Modellierungssoftware ‚Leapfrog Geo‘ aufgebaut. Leapfrog verwendet eine neue implizite geologische Modellierungstechnik, die mithilfe einer radialen Basisfunktion geologische Modelle aus Bohrlochdaten, Aufschlussdaten, interpretierten Abschnitten und Strukturdaten, erstellt und aktualisiert (Birch, 2014). Basierend auf 9 geologischen Karten (Maßstab 1:25.000), über 400 Bohrprofilen und hydrogeologischen Daten ermöglicht das Strukturmodell einen deutlich verbesserten Einblick in den geologischen Untergrund, wie die dreidimensionale Visualisierung der geologischen Schichten und bekannten tektonischen Strukturen, die Darstellung von Fließpfaden aus Tracerversuchen, sowie die Postulierung bisher noch nicht kartierter Störungen (Bild 1).



Letztere konnten durch CO₂ Bodenluftuntersuchungen teilweise bereits verifiziert werden. Insgesamt konnte auf diese Weise das Modellgebiet deutlich besser charakterisiert werden, insbesondere im Hinblick auf vorhandene Störungen und Verwerfungszonen, die möglicherweise bevorzugte Fließwege darstellen, Gesteinsblöcke isolieren oder die trennende Funktion der Haßmersheimer Schichten beeinflussen. Das entwickelte Struktur- und Standortmodell bildet

somit eine geeignete Grundlage für den Aufbau des Grundwasserströmungs- und Transportmodells und schafft verbesserte Entscheidungsgrundlagen für das lokale Wassermanagement.

Literatur

- ASG (2012): Datenpool Hydrogeologie und Wasserwirtschaft, Zweckverband Ammertal-Schönbuchgruppe.
- Birch, C. (2014): New systems for geological modelling—black box or best practice? The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy (114), 993–1000.
- Harress, H.M. (1973): Hydrogeologische Untersuchung im Oberen Gäu. Dissertation. Plümacher, J. (1999). Kalibrierung eines regionalen Grundwasserströmungsmodells mit Hilfe von Umwelteisotopeninformationen. Schriftreihe des Amtes für Umweltschutz, S. 1–160.
- Ufrecht, W. (2006): Zur Hydrogeologie der Aquifersysteme Buntsandstein und Muschelkalk zwischen Neckar und Donau. Hydrogeologie des Stuttgarter Mineralwassersystems Heft 3/2006, S. 19–48.
- Villinger, E. (1982): Grundwasserbilanzen im Karstaquifer des Oberen Muschelkalks im Oberen Gäu. Geol. Jb., S. 43–61.

P 8.4

Sensitivitätsanalyse eines räumlich verteilten Karst-Grundwassermodells an einem Karstaquifer in Florida

Benjamin Schima¹, Thomas Reimann², Andreas Hartmann¹

¹ Universität Freiburg, Institut für Geo- und Umweltwissenschaften

² TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft

Kontakt: Thomas.Reimann@tu-dresden.de

Karstgrundwasserleiter sind in vielen Regionen der Welt eine wichtige Quelle für sauberes Trinkwasser. Ihre ausgeprägte Heterogenität und Anisotropie stellen jedoch eine große Herausforderung für das Wassermanagement dar. Hydrologische Modelle sind ein geeignetes Instrument, um die Auswirkungen von Klima- oder Landnutzungsänderungen auf Karstwasserressourcen zu bewerten. Räumlich verteilte Karst-Grundwassermodelle sind erforderlich, um räumliche Informationen über die Grundwasserstände und den Grundwasserfluss im Karstaquifer in der Nähe von Wasserversorgungsbrunnen bereitzustellen.

Diese Arbeit stellt die ersten Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse eines numerischen Karstgrundwassersimulationsmodells (eine verbesserte Version von MODFLOW-CFP, Reimann et al., 2014) für einen Karst-Aquifer in Florida (USA) vor. Frühere Forschungsarbeiten (Kuniansky, 2016) zeigten, dass die explizite Berücksichtigung von Karst-Eigenschaften innerhalb von MODFLOW-CFP die Simulation von Niederschlags-Abfluss-Ereignissen verbesserte.

In dieser Studie bauen wir auf diesen früheren Erfahrungen auf und wenden eine verbesserte Parametersensitivitätsanalyse (Methode nach Morris) an, um die simulierten Prozesse und Flüsse und die räumliche Verteilung von Parametersensitivitäten besser zu verstehen und so das Modell auf zukünftig geplante Simulationen des Stofftransportverhaltens vorzubereiten.

Literatur

- Kuniansky, E.L. (2016): Simulating groundwater flow in karst aquifers with distributed parameter models—Comparison of porous-equivalent media and hybrid flow approaches. US Geological Survey.
- Reimann, T., Giese, M., Liedl, R., Maréchal, J.C. & Shoemaker, W.B. (2014): Representation of water abstraction from a karst conduit with numerical discrete-continuum models. Hydrol. Earth Syst. Sci. 18, 227–241. doi:10.5194/hess-18-227-2014.

P 8.6

Incorporation of discrete turbulent conduit flow in a karst Equivalent Porous Media model

Sullivan Timothy P.¹, Gao Yongli¹, Thomas Reimann²

¹ Department of Geological Sciences Center for Water Research University of Texas at San Antonio

² TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft

Kontakt: Thomas.Reimann@tu-dresden.de

Numerical modeling of groundwater flow is of worldwide importance because karst aquifers contain 25% of world-wide available groundwater. Historically, karst features have been simulated through Equivalent Porous Media (EPM) models in MODFLOW where areas of very high hydraulic conductivity are used to represent karst conduits. A limitation of this approach is that flow in karst conduits is often turbulent, while MODFLOW is designed to simulate laminar flow. This introduces inaccuracies in the simulation especially at the local scale. These models are further limited by their inability to accurately simulate contaminant fate and transport. The introduction of MODFLOW-CFP resolved the first limitation by allowing a dual continuum approach where both turbulent flow through karst conduits and laminar flow through the aquifer matrix are simulated. A further refinement occurred with the introduction of CFPv2, which couples an enhanced version of MODFLOW-CFP with the Three-Dimensional Underground Mine Transport Model (UMT3D) to incorporate advective contaminant transport through karst conduits.

A promising application of these new modeling tools is the incorporation of conduits into existing EPM models to more accurately simulate turbulent flow as well as contaminant fate and transport. The addition of conduits to existing EPM models is not completely straightforward, however, because the conduits must be calibrated for their geometry (diameter, roughness, tortuosity), conductance, and recharge. Furthermore, the hydraulic conductivity of the EPM cells previously used to simulate karst conduits must be recalibrated to represent matrix flow. The present effort converted an existing EPM for the Edwards Aquifer (Texas), a highly productive, regional karst aquifer in a semi-arid environment to a dual-continuum model. The calibration progressed sequentially from hydraulic calibration of a steady-state model to hydraulic calibration of a transient model to contaminant transport calibration of a transient model. Calibration parameters were adjusted using the parallel Parameter ESTimation (BeoPEST) program. The poster presents the methodology and challenges associated with conducting this calibration including parameter choice, parameter ranges, and improving calibration efficiency. The information presented will be useful to groundwater modelers looking to incorporate karst features into groundwater models as well as those utilizing automated calibration software.

P 8.7

Effects of fault systems on unsaturated and saturated flow dynamics in karst aquifers

Marcus Veltri¹, Alexa Terrell¹, Jannes Kordilla¹, Sebastian Schmidt¹, Martin Sauter¹

¹ University of Göttingen, Geosciences Centre

Kontakt: marcusjveltri@gmail.com

Fault zones provide rapid groundwater flow paths in many aquifer systems and are considered of importance in recharge dynamics. Here we numerically study saturated and unsaturated flow in karstified aquifer systems situated in two field sites, draining to the Leine Valley, Göttingen, Germany. The sites are similar with respect to the general aquifer geology, climatic conditions as well as regional groundwater flow conditions but different with respect to the degree of faulting. These are the Weendespring and Gronespring catchments, located on opposite sides of the Leinetalgraben in Göttingen, Germany, and intersected by seven and one fault zone(s), respectively. The vulnerability of the aquifers within these catchments with respect to groundwater contamination is of interest due to their importance as a drinking water supply resource. The catchments are conceptualized with three distinct hydrogeological limestone/marl units of the Triassic Muschelkalk. The Upper and Lower Muschelkalk units are highly conductive and separated by a middle aquitard unit intersected by fault zones. Using the finite element COMSOL Multiphysics® modeling software, infiltration through the unsaturated zone is considered using the Richard's equation with a van Genuchten type parameterization. Fault zones are implemented as highly conductive zones with thicknesses derived from field measurements. The impact of the fault zone density on regional catchment flow dynamics is studied by an inverse modeling approach, considering different patterns of spring discharge. Comparisons are drawn between the two catchments based upon their fault zone contributions to (a) preferential groundwater flow, (b) recharge infiltration across the vadose zone and (c) the cumulative effect on the overall karst flow dynamics.

Ergebnisse von Markierungsversuchen am Grinberg, Tuxertal, Österreich

Rafael Schäffer¹, Ingo Sass

¹ FG Angewandte Geothermie, TU Darmstadt

Kontakt: schaeffer@geo.tu-darmstadt.de

Im Marmor der Hochstegen-Formation existieren unterhalb der Grinbergspitze (2.867 m ü.A.) mehrere Schwinden, in denen der Grinbergbach je nach Abflussverhältnissen teilweise oder vollständig versickert. Erstmals wurden Markierungsversuche in diesem Gebiet durchgeführt. Es wurde jeweils ein Markierungsversuch bei hohem und geringem Abfluss durchgeführt. Als Markierungsmittel wurde Uranin verwendet. Im Abstrom wurden etwa 25 Messstellen an Quellen und Oberflächengewässern überwacht. Zum Einsatz kamen Feldphotometer, automatische Probenehmer und Aktivkohlesäckchen. Es zeigte sich, dass eine hydraulische Verbindung zu Karstquellen in der Tuxbachklamm, etwa 2 km entfernt und 630 m tiefer gelegen, existiert. Diese Fließstrecke wurde je nach Abflussregime in mehreren Stunden bis wenigen Tagen zurückgelegt. Durch die Geländebeobachtungen wird deutlich, dass das Einzugsgebiet der Karstquellen weit größer als das Einzugsgebiet der Schwinden auf der Grinbergalm ist. Die Versuchsergebnisse verbessern die Kenntnisse der lokalen Verkarstung und dienen verschiedenen Zwecken. Erstens, zur Beurteilung der Eignung der stark schüttenden Tuxbachquellen (bis ca. 0,5 m³/s) zur Trinkwasserversorgung. Zweitens, zur Risikoabschätzung eines im selben Gebiet im Bau befindlichen Überleitungstunnels zur Stromgewinnung aus Wasserkraft. Drittens, zur Abschätzung der Eignung der Hochstegen-Formation zu geothermalen Zwecken.

9 Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen: Prozesse und Methoden

Vorträge

O 9.1: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 11:30-11:45

Erkundung eisenreicher Hot Spots im Grundwasserzustrom von Fließgewässern in der Lausitz

Fabian Musche¹, Thomas Grischek¹, Wilfried Uhlmann²

¹ *Wasserwesen, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden*

² *Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann*

Kontakt: fabian.musche@htw-dresden.de

In den Bergbaufolgelandschaften wie der Lausitz kommt es mit dem Wiederanstieg des Grundwassers zu hohen Fe(II)-Konzentrationen im Wasser. In grundwassergespeisten Fließgewässern führt der Kontakt von Fe(II) mit Sauerstoff zu einer Ausfällung von Eisen(hydr)oxiden und zur Versauerung. Visuell ist das Ergebnis der Eisenoxidation an einer Braunfärbung der Gewässersedimente und ggf. des Wassers erkennbar.

Auf Anregung des Instituts für Wasser und Boden Dr. Uhlmann wurden Untersuchungen an Fließgewässern in der Lausitz durchgeführt und Bereiche der Eiseneinträge aus dem Grundwasser identifiziert. Innerhalb der ausgewiesenen Bereiche ist die Eisenkonzentration im Grundwasser lokal stark differenziert - hohe Eisenbelastungen treten in Form von „Hot Spots“ auf. Als Maßnahmen gegen die eisenhaltigen Grundwasserzuströme werden derzeit Linienbauwerke (Brunnengalerien, Sickergräben) zur Fassung und anschließenden Behandlung des Grundwassers als hydraulische Barriere zum Schutzgut favorisiert. Die Investitions- und Betriebskosten hierfür sind hoch und könnten nach einer genaueren Ausweisung der (Schad)stofffrachten durch Konzentration auf Schwerpunkte des Stoffeintrages verringert werden.

Im Rahmen eines SMWK-Forschungsprojekts wurde 2015 eine einfache Direct-Push-Technik entwickelt (Musche et al., 2016). Mit dieser können entlang eines Fließgewässers Grundwasserproben im Zustrombereich (Ufer/ Flussbett) mit geringem Aufwand entnommen werden. Durch die punktuelle Sondierung und Grundwasserprobennahme werden vergleichbare Messwerte mit einer hohen räumlichen Auflösung erhalten. Mithilfe von Oberflächentemperaturmessungen im Flussbett und am Ufer kann weiterhin die Stärke des Zustroms qualitativ bewertet werden.

An einem 750 m langen Abschnitt der Kleinen Spree bei Spreewitz konnten so die Variabilität der Grundwasserbeschaffenheit im Zustrom ermittelt und der Schwerpunkt der Belastung eingegrenzt werden. Während die höchste Fe(II)-Konzentration lokal mit 400 mg/L festgestellt wurde, betrug sie 50 m stromabwärts nur noch etwa 250 mg/L und sank über weitere 100 m auf 60 mg/L. Im Oktober 2017 sind Wiederholungsmessungen und die Untersuchung eines weiteren Standortes geplant, deren Ergebnisse zur FHDGG-Tagung vorgestellt werden.

Quantifizierung diffuser Stoffeinträge in die Oberflächengewässer in den Grundwasserwiederanstiegsgebieten des Lausitzer Braunkohlenreviers durch Kombination methodisch unterschiedlicher Ansätze

Carolin Pezenka¹, Wilfried Uhlmann¹

¹ Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann

Kontakt: wilfried.uhlmann@iwb-dresden.de

Der Braunkohlenbergbau beeinträchtigt im großen Maß die Wasserführung und die Wasserbeschaffenheit von Oberflächengewässern und Grundwasser. Die Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser unterscheiden sich qualitativ und quantitativ in den Phasen des Gewinnungsbergbaus, des Sanierungsbergbaus und der nachbergbaulichen Landschaftsentwicklung. Ein aktuelles Problem des Sanierungsbergbaus im Lausitzer Braunkohlenrevier sind die diffusen Stoffeinträge in die Oberflächengewässer in den Gebieten des Grundwasserwiederanstiegs, die hier zur Versauerung und Verockerung führen.

Zur Planung und zum Betrieb geeigneter Abwehrmaßnahmen gegen die diffusen Stoffeinträge ist die Kenntnis der räumlich diskreten Volumenströme, Stoffkonzentrationen und Stofffrachten erforderlich. Ein grundlegendes methodisches Problem besteht darin, dass die Volumenströme und die Stoffkonzentrationen der diffusen Stoffeinträge nicht direkt messbar sind und deshalb nicht mit der erforderlichen Genauigkeit bestimmt werden können. Durch Differenzmessung der Durchflüsse in Fließgewässern können aufgrund der asymmetrischen Mengenrelation Grundwasserzutritte nicht belastbar bestimmt werden. In Tagebauseen ist die messtechnische Erfassung von Grundwasserzuflüssen an den Böschungen schlicht unmöglich. Grundwassermessstellen liefern lediglich Informationen zu den hydraulischen Potentialen, nicht aber zu den bemessungsrelevanten Volumenströmen des Grundwassers, sowie Punktinformationen zur Hydrochemie, deren Generalisierung für den Grundwasserzustrom problematisch ist. Geohydraulische Modelle sind aufgrund der Abstraktion der Gewässerrandbedingungen in ihrer Genauigkeit begrenzt.

Der vorliegende Beitrag zeigt an zwei Fallbeispielen (Spree zwischen dem Wehr Ruhlmühle und Spreewitz sowie Unterlauf der Kleinen Spree), an denen es durch die Kombination verschiedener und unabhängiger Methoden gelungen ist, die diffusen Stoffeinträge aus dem Grundwasser in die Oberflächengewässer quantitativ ausreichend genau und örtlich diskret zu ermitteln. Zur Anwendungen gelangten:

- § die 3D stationäre geohydraulische Modellierung zur Ermittlung und Plausibilisierung der Gebietswasserbilanzen,
- § die 2D vertikalebene instationäre geohydraulische Modellierung zur Ermittlung der zeitlichen Variabilität der Wechselwirkungen in der Kombination mit
- § Dauermessungen der flussnahen Grundwasserpotentiale,
- § die flussnahe hydrochemische Grundwassererkundung,
- § Stichtagsmessungen der Durchflüsse und Wasserbeschaffenheit in den Fließgewässern unter Berücksichtigung von Fehlerbetrachtungen,
- § zeitdichte Sondermonitorings der Wasserbeschaffenheit in den relevanten Fließgewässeranschnitten und deren statistische Auswertung sowie
- § die Nutzung dynamischer Stoffbilanzmodelle für die untersuchten Fließgewässerabschnitte zur Plausibilisierung der Volumenströme und Konzentrationen der diffusen Einträge.

O 9.3: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 12:00-12:15

Auswaschung oder Eintrag von Mangan bei der Uferfiltration?

Sebastian Paufler¹, Marcos Benso¹, Nadine Seidel¹, Thomas Grischek¹

¹ Lehrgebiet Wasserwesen, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Kontakt: sebastian.paufler@htw-dresden.de

Aufgrund verschiedenster Ursachen werden bei der Uferfiltration häufig erhöhte Mangangehalte im Rohwasser beobachtet, die eine nachfolgende Aufbereitung erforderlich machen. Als Ergebnis einer Reihe von Redoxprozessen entlang des Fließweges des Infiltrates kommt es oftmals zu einer Reduktion von im Grundwasserleiter vorhandenen Manganverbindungen. Die resultierende Mangankonzentration ist jedoch von verschiedenen Randbedingungen abhängig, z. B. der Aufenthaltszeit, der Sauerstoffzehrung, der Temperatur oder der Ausbildung einer Kolmationschicht im Gewässer. An einigen Standorten übersteigt dabei die Mangankonzentration sogar die Eisenkonzentration.

Zur Beschreibung des Verhaltens von Mangan wurden Sedimentproben aus Flusssohlen an Uferfiltrationsstandorten in Deutschland und Ägypten untersucht, Wasserbeschaffenhkeitsdaten von flussnahen Messstellen ausgewertet, teufenorientierte Proben aus Förderbrunnen entnommen und Säulenversuche bei verschiedenen Temperaturen im Labor durchgeführt.

Für Wasserfassungen in Torgau-Ost und Niederpoyritz (Wasserwerk Dresden-Hosterwitz) wurde ein abnehmender Trend der Mangankonzentration im Uferfiltrat nachgewiesen. Der Trend wird mit einer „Auswaschung“ des Mangans aus dem Grundwasserleiter erklärt. Am Standort Embaba, Kairo, Ägypten, wurden entgegen den Empfehlungen einer 2012 durchgeführten Voruntersuchung 2016 sechs Brunnen in einem Abstand von nur etwa 10 m vom Nilufer mit relativ tiefem Filterbereich gebaut. Nach Inbetriebnahme wurden erwartungsgemäß erhöhte Eisen- und Mangankonzentrationen gemessen, die zu einer Färbung des Trinkwassers nach Mischung mit dem aufbereiteten Oberflächenwasser im Behälter führte. In einem Feldeinsatz wurde die Ursache erhöhter Mangankonzentrationen im Uferfiltrat genauer untersucht. Die teufenorientierte Beprobung entlang des Filterbereichs ausgewählter Brunnen ergab einen manganreichen Zustrom im oberen Filterbereich. Als Ursache wird die reduktive Auflösung von Fe-/Mn-(Hydr)oxiden aus Schlammlagerungen auf der Nilsohle angesehen. In Säulenversuchen wurde die stärkere Freisetzung von Mangan bei Temperaturen >20°C und geringer Fließgeschwindigkeit bzw. Stagnationsphasen nachgewiesen. Im Vortrag werden neben den Untersuchungsergebnissen erste Ansätze einer Abschätzung der Manganfreisetzung bei der Uferfiltration vorgestellt.

O 9.4: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 12:15-12:30

Grundwasserzustrom und grundwasserbürtiger Nährstoffimport in Seen

Jörg Lewandowski¹, Karin Meinikmann¹, Gunnar Nützmann¹

¹ Abt. Ökohydrologie, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) und Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin

Kontakt: lewe@igb-berlin.de

Eutrophierung ist in vielen Gewässern nach wie vor ein drängendes ökologisches Problem. Typische anthropogene Nährstoffquellen sind Kunstdünger, Gülle und Abwasser. Ein erster Schritt auf dem Weg zu einem effektiveren Seenmanagement ist eine akkurate Quantifizierung der Eintragspfade. Einige Nährstoffeintragspfade können relativ leicht und zuverlässig quantifiziert werden, beispielsweise oberirdische Zuflüsse. Dagegen ist es wesentlich schwieriger, die Bedeutung des Grundwasserpfads für den Nährstoffimport zu beurteilen. Wir zeigen Gründe, warum der Grundwasserpfad in Nährstoffbilanzen von Seen oft vernachlässigt oder unterschätzt wurde. Außerdem geben wir einen Überblick über die wichtigsten Messtechniken und stellen Grundwasservolumenströme, Nährstoffkonzentrationen und -frachten aus der internationalen Literatur zusammen. Die meisten Messtechniken basieren auf der separaten Bestimmung von Volumenströmen und Nährstoffkonzentrationen und der anschließenden (segmentweisen) Multiplikation der beiden Werte. Die Konzentrationen von Grundwasserkomponenten variieren entlang der Fließpfade aus

dem Einzugsgebiet in den See. Insbesondere die Grenzfläche zwischen Grundwasser und See wird oft als reaktive Zone angesehen. Wir beschreiben das Verhalten von Stickstoff und Phosphor entlang ihrem unterirdischen Transportpfad aus dem Einzugsgebiet durch die reaktive Grenzfläche in den See. In einer Fallstudie zeigen wir Ergebnisse vom Arendsee in Sachsen-Anhalt, wo der Grundwasserzustrom ein maßgeblicher Treiber der intensiven Eutrophierung des Sees ist. Mehr als 50 % der gesamten P-Belastung sind hier grundwasserbürtig.

O 9.5: Vortragsreihe, 22.03.2018, 12:30-12:45

Auswirkungen der Fluss-Grundwasser-Interaktion auf den Eintrag und Transport von Nitrat in einem mesoskaligen Flusseinzugsgebiet

Nico Trauth¹, Andreas Musolff¹, Benjamin Gilfedder², Sven Frei², Jan H. Fleckenstein¹

¹ Department Hydrogeologie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ

² Lehrstuhl für Hydrologie, Universität Bayreuth

Kontakt: nico.trauth@ufz.de

Diffuse Stickstoffeinträge in Flusseinzugsgebieten (EZG) werden durch verschiedene natürliche und anthropogene Faktoren kontrolliert, wodurch Konzentrationen und -umsatzraten (z.B. durch Denitrifikation) im Fluss- und Grundwasser zeitlich-räumlich stark variieren können.

Zur Charakterisierung der kontrollierenden Faktoren wurde eine longitudinale Beprobung der Selke von der Quelle im Harz bis zur Mündung in die Bode durchgeführt (67 km). Hierzu wurde unter Niedrigwasserabfluss ca. alle 2 km eine Flusswasserprobe sowie der wichtigsten Nebenflüsse beprobt. Die Proben wurden auf Feldparameter, Hauptionen, N-O-Isotope und Radon-222 (Rn) untersucht. An jeder Probenahmestelle fand zusätzlich eine manuelle Messung des Abflusses statt. Der Grundwasserzustrom zwischen zwei Probenahmestellen wurde basierend auf den Rn Messungen für jeden Flussabschnitt bestimmt (Frei und Gilfedder 2015).

Generell steigt die elektrische Leitfähigkeit von der Quelle bis zur Mündung an, während sich die Nitratkonzentration erst signifikant erhöht, wenn die Selke den bewaldeten Harz verlässt. Im unteren EZG treten zwischen Flusskilometer 20 und 10 erhöhte Nitratkonzentrationen von 15 mg/l auf, die danach auf einen konstanten Wert von 10 mg/l absinken. Der beobachtete Verlauf der Nitratkonzentration im Flusswasser lässt sich durch folgende Faktoren erklären:

- 1) Basierend auf den Rn Konzentrationen wurde insbesondere an dem besagten Flussabschnitt ein erhöhter Grundwasserzustrom zum Fluss berechnet, welcher sich aus der regionalen hydrogeologischen Situation ergibt. Der Fluss ändert in diesem Abschnitt seine Fließrichtung um ca. 90° von NE nach NW aufgrund der vorherrschenden Sattel-Mulden Struktur der Subherzynen Senke. Im ausgedehnten alluvialen Aquifer zwischen diesen Flussabschnitten ist die Grundwasserströmung nahezu senkrecht auf den Flussabschnitt gerichtet.
- 2) Dort wo der Fluss den Harz verlässt und in das flachere Subherzyn eintritt, wechselt die Landnutzung im EZG von vorwiegend wald- zu landwirtschaftlich genutzten Flächen. Als Folge liegen im Grundwasser erhöhte Nitratkonzentrationen vor. In Kombination mit dem oben beschriebenen erhöhten Grundwasserzustrom führt dies zu der beobachteten lokal erhöhten Nitratkonzentration im Flusswasser.
- 3) Die weiter flussabwärts beobachtete Verminderung der Nitratkonzentration ist wahrscheinlich auf den Zustrom von tiefem Grundwasser mit einer sehr geringen Nitratkonzentration zurückzuführen, vermutlich verursacht durch die starke Grundwasserentnahme im ehemaligen Tagebau Nachterstedt. Dafür sprechen auch die erhöhten Rn, Kalzium-, Sulfat- und Eisenkonzentrationen.

Ein potentieller Abbau von Nitrat durch die Denitrifikation ist vor allem im Unterlauf des EZGs zu verzeichnen. Hier steigen die Anreicherungen von ¹⁵N Isotopen im Flusswasser an, was auf eine erhöhte Denitrifikations-Aktivität im dem zum Fluss zuströmenden Grundwasser schließen lässt.

Literatur

Frei, S.; Gilfedder, B.S. (2015): FINIFLUX: An implicit finite element model for quantification of groundwater fluxes and hyporheic exchange in streams and rivers using radon: FINIFLUX: Finite Element mass-balance modelling using Radon. Water Resources Research 51, 6776–6786. doi:10.1002/2015WR017212

Flächendeckende Erfassung der stabilen Sauerstoff- und Wasserstoffisotopenverhältnisse Bayerns – Einblicke in die Verbindung von Grundwasser und Niederschlag

Robert van Geldern¹, Diana Butzer¹, Sebastian Kastner¹, Johannes A.C. Barth¹, Michael Wrobel², Christine Stumpp³

¹ GeoZentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

² Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hans-Högn-Straße 12, 95030 Hof/Saale

³ Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Grundwasserökologie, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg
Kontakt: robert.van.geldern@fau.de

Sauerstoff- und Wasserstoffisotopenverhältnisse des Wassermoleküls werden seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt, um verschiedenste wissenschaftliche und praktische Fragestellungen im Bereich der Hydrologie und Hydrogeologie zu erforschen. Als eines der erfolgreichsten Beispiele gilt hier das Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) der Internationalen Atom Energie Behörde (IAEA) in Wien [1], in die auch die Messwerte des deutschen Isotopenmessnetztes eingehen [2]. Durch die langjährigen systematischen Messungen sind heute die globalen räumlichen und zeitlichen Variationen der Isotopenverhältnisse des Niederschlages gut bekannt und kommen in vielen Wissenschaftsdisziplinen zur Anwendung [3].

Im Gegensatz zum Niederschlag sind hingegen die Isotopenverhältnisse des Grundwassers kaum auf größeren Skalen erfasst und werden häufig nur in einzelnen lokalen Studien betrachtet. Eine systematische Messung in Grundwasser als einer der wichtigsten Trinkwasserressourcen findet nicht statt. Allerdings könnten stabile Isotope des Grundwassers bei einer Vielzahl von Fragestellungen, wie z.B. bei der Betrachtung von Abstandsgeschwindigkeiten, Mischungen von Grundwasserstockwerken oder dem Grundwasseralter entscheidende Hinweise liefern [4-6].

Im Frühjahr 2015 wurden in Bayern in Kooperation mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, der Universität Erlangen-Nürnberg, dem Helmholtz Zentrum München und mit Unterstützung der bayerischen Wasserwirtschaftsämter, an rund 650 Brunnen und Quellen Proben entnommen und hinsichtlich ihres stabilen Isotopenverhältnisses analysiert. Diese Daten stellen den ersten flächendeckenden Isotopendatensatz des bayerischen Grundwassers dar. Diese Grundwasserdaten werden mit den Daten der sieben bayerischen GNIP Stationen überschritten, um Regionen und Brunnen zu identifizieren, die ein vom lokalen Niederschlag abweichendes Isotopenverhältnis haben. Ursachen hierfür können z.B. die Anbindung an Oberflächengewässer, tiefe Grundwasserstockwerke oder weiter entfernte Einzugsgebiete sein. Damit lassen sich potentiell zusammenhängende Einzugsgebiete unterscheiden sowie hydraulische Verbindungen zu anderen Aquiferen und Oberflächengewässern identifizieren. Darüber hinaus bietet diese Studie die Möglichkeit erstmalig flächendeckend das Isotopenverhältnis des Grundwassers räumlich darzustellen und damit die Datengrundlage für eine Vielzahl nachfolgender Anwendungen zu schaffen.

Literatur

- [1] <http://www.iaea.org/water>
- [2] Bowen, G.J. (2010): Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 38, 161-187, [doi:10.1146/annurev-earth-040809-152429].
- [3] Stumpp, C. et al. (2014): J Hydrol., 517, 351-361, [doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.034]
- [4] van Geldern, R. et al. (2014): Sci. of Total Env., 496, 107-115, [doi:10.1016/j.scitotenv.2014.07.011]
- [5] van Geldern, R. et al. (2015): Grundwasser, 20, 169-179, [doi:10.1007/s00767-015-0296-6]
- [6] Penckwitt, J. et al. (2016): Grundwasser, 21, 217-225, [doi:10.1007/s00767-015-0310-z]

O 9.7: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 14:15-14:30

Aufbau eines großskaligen Modells zur Modellierung der Salz-/Süßwassergrenze in Nordwest Deutschland – Zwischen Annahmen und Messungen

Wencke Schubert¹, Janek Greskowiak¹, Gudrun Massmann¹

¹ IBU/Universität Oldenburg

Kontakt: wencke.schubert@uni-oldenburg.de

Nordwest Deutschland zwischen Weser und Ems ist ein durch Deichbau und Entwässerung größtenteils eingenommenes Marschgebiet mit einem zentralen Geestrücken. Historisch bedingt liegt die Süß-/Salzwassergrenze im Untergrund hier weit landeinwärts und Wasserförderung ist küstennah selten möglich und konzentriert sich somit weitgehend auf die höhergelegenen Geestbereiche. Zur Quantifizierung der Einflussfaktoren auf die Bewegung der Süß-/Salzwassergrenze wurde ein großskaliges Modell des Gebiets zwischen Ems und Weser (Ost-West) sowie Nordsee und Oldenburg (Nord-Süd) aufgebaut. Hierzu wurden Daten von Behörden und privaten Wassernutzern verwendet. Jedoch war das Datenmessnetz nicht ausreichend, um das gesamte Gebiet abzudecken. Deshalb mussten viele Werte angenommen oder interpoliert werden; so z.B. die Wasserstände der zahlreichen Flüsse im Gebiet und ihre Anbindung an das Grundwasser.

Für eine erste Abschätzung der gemessenen Grundwasserstände (Mittelwerte von einem Zeitraum der letzten 5 Jahre für 301 Messstellen) wurde ein stationäres Strömungsmodell mit der USGS Software MODFLOW-2005 aufgebaut. Die Diskretisierung der Zellen des Modells beträgt 500 mal 500 m. Das Modell enthält die hydraulischen Potentiale der Nordsee sowie der Weser und der Ems als Randbedingungen erster Art. Pumpraten stammen von den Wasserwerken und privaten Wassernutzern. Die Layerstruktur und implementierten hydraulischen Leitfähigkeiten orientieren sich am tatsächlichen geologischen Aufbau. Als Datengrundlage dienten die behördlichen Messungen. Die Grundwasserneubildung wurde der mGROWA Modellierung (Herrmann et al. 2013) entnommen. Kalibrierparameter waren die hydraulischen Leitfähigkeiten der im Modell implementierten hydrogeologischen Einheiten, sowie die Leakage-Faktoren der Cauchy-Randbedingungen, mit denen die Anbindung der Oberflächengewässer an das Grundwasser modelliert wurde. Im nächsten Schritt soll das Modell in ein dichteabhängiges Strömungsmodell überführt werden, um so die Lage der Süß-/Salzwassergrenze abzubilden und die klimabedingten Effekte von Meeresspiegelanstieg und Änderungen in der Grundwasserneubildung studieren zu können.

Literatur

Herrmann, F., Chen, S., Heidt, L., Elbracht, J., Engel, N. & Kunkel, R. (2013): Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 57, S. 206–224.

O 9.8: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 14:30-14:45

The overall limited but locally important flow of fresh groundwater and solutes to the world's oceans and coastal ecosystems

Elco Luijendijk¹, Tom Gleeson², Nils Moosdorf³

¹ University of Göttingen

² University of Victoria

³ Leibniz Centre for Tropical Marine Research (ZMT)

Kontakt: eluijen@gwdg.de

The flow of fresh groundwater towards the world oceans may provide substantial inputs of critical nutrients and solutes to the oceans. Here we present the first global model and map of coastal groundwater discharge and associated pollution risk to show that the contribution of fresh groundwater is much lower than previously assumed, and accounts for only 0.6% of the freshwater input and <3% of the solute input to the oceans. However, coastal groundwater discharge shows a high spatial variability and dominates freshwater and solute flux in 14% of the global coastline. As a result a substantial part of the global coastline, including sensitive ecosystems such as salt marshes and coral reefs,

is at risk from pollution and eutrophication by terrestrially derived groundwater. Coastal groundwater discharge constitutes a diffuse and largely unmonitored source of pollutants that is likely to increase in the future.

O 9.9: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 14:45-15:00

Stickstofftransport durch Grundwasser ins Meer: eine Modellstudie zu räumlicher und zeitlicher Verteilung auf globaler Skala

Nils Moosdorf¹, Christoph Merz², Jörg Steidl², Christoph Müller³, Klaus Müller²

¹ Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung (ZMT)

² Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)

³ Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

Kontakt: nils_sci@moosdorf.de

Grundwasser fließt entlang der Küstenlinien submarin dem Meer zu. Die dabei mitgeführten Nährstoffe (insbesondere Stickstoff) können die marinen Küstenökosysteme schädigen. Da die Transitzeiten im Grundwasser teils sehr lang sind, können noch nach 2025, wenn die „United Nations Sustainable Development Goals“ uns dazu verpflichten den Nährstoffeintrag in die Ozeane zu senken, die Stickstoffeinträge steigen.

Die hier vorgestellte modellbasierte Studie nutzt global verfügbare Daten, um weltweit sensitive Regionen zu identifizieren, in denen ein Anstieg des Stickstoffeintrags durch submarinen Grundwasserabfluss potenziell zu erwarten ist. Für 40.000 Küsteneinzugsgebiete, die als Fläche zwischen zwei Flusseinzugsgebieten definiert sind, repräsentieren diese Daten und Modellergebnisse 1) den Stickstoffeintrag ins Grundwasser, 2) die Transitzeit des in das Grundwasser eingetragenen Stickstoffs bis ins Meer, 3) den Nitratabbau während des Grundwassertransits durch biogeochemische Prozesse, 4) die Reaktionen im subterrestrischen Estuar, und 5) die globale Verteilung des submarinen Grundwasserabflusses sowie 6) der sensitive Küstenökosysteme. Geodaten (Landnutzung, Lithologie, Grundwasserdruckhöhe, globale Verteilung des Grundwasserabflusses, Vorkommen sensibler Küstenökosysteme) mit globaler Ausdehnung werden mit Daten aus Literaturanalysen (zu Denitrifizierung, Reaktionen im subterrestrischen Estuar) gekoppelt. Der Aufbau der Studie kann auf andere Parameter (z.B. anthropogene Schadstoffe wie Pflanzenschutzmittel) angepasst werden, wenn die entsprechenden Daten zur Verfügung stehen.

Dank der umfassenden Modellanalyse können, selbstverständlich im Rahmen der Unsicherheiten, die mit globalen Modellansätzen assoziiert sind, Regionen identifiziert werden, in denen ein Anstieg der Nährstofffracht im submarinen Grundwasserabfluss bevorsteht. Insbesondere in Regionen mit jetzt niedrigen Nährstofffrachten und sensiblen Ökosystemen, z.B. Korallenriffen, können zukünftige Änderungen der Nährstofffracht ein Risiko für das Ökosystem darstellen. Mit Hilfe der Studie können regionsbezogen höher aufgelöste Analysen vorgenommen werden, um ggf. rechtzeitige Managementmaßnahmen einzuleiten.

O 9.10: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 15:00-15:15

Modellierung der Grundwasseraltersverteilung im subterranean Ästuar unter hochenergetischen und mesotidalen Bedingungen am Beispiel einer Barriereinsel (Spiekeroog, Nordwestdeutschland)

Nele Grünenbaum¹, Janek Greskowiak¹, Gudrun Massmann¹

¹ FAK V IBU, Universität Oldenburg

Kontakt: nele.gruenenbaum@uni-oldenburg.de

Die intertidale Zone in küstennahen Aquiferen ist ein dynamischer Bereich, in dem terrestrisches Grundwasser sowie tidegesteuertes, zirkulierendes Meerwasser aufeinandertreffen. Submarine Grundwasseraustritte wurden in den vergangenen Jahren als wichtiger Eintragspfad für Nährstoffe und Spurenmetalle vom Land ins Meer identifiziert. Mehrere Feld- und Modellierstudien dieser Süß-Salzwasser Interaktionen lassen vermuten, dass die unterirdischen Austritte überwiegend im Bereich der Niedrigwasserlinie auftreten. Um die Relevanz dieser Austritte auf die lokalen

Stoffkreisläufe abschätzen zu können, ist es wichtig, Kenntnis über die Fließwege, Aufenthaltszeiten und Austauschmengen von in- und exfiltrierendem Wasser in der intertidalen Zone zu erhalten.

In der vorliegenden Studie wurden an einem mesotidalen Strand einer Barriereinsel (Spiekeroog, Nordwestdeutschland, Tidenhub 2.7 m) umfangreiche Geländeuntersuchungen im Grundwasser der intertidalen Zone durchgeführt. Ziel war es die Grundwasserdynamik, Strömungsmuster, Aufenthaltszeiten und Salzverteilung nachzuvollziehen.

Dazu wurden temporäre Grundwassermessstellen installiert und mit Datenloggern ausgestattet. Neben den Grund- und Oberflächenwasserständen wurde auch die elektrische Leitfähigkeit aufgezeichnet. Zudem wurden Grundwasserproben für die Altersdatierung mittels Tritium-Helium-Methode entnommen. Die Strandtopographie und ihre zeitliche Dynamik wurden mit Hilfe eines 3D-Laserscanners ermittelt.

Die Salzgehalte der entnommenen Grundwasserproben für die Altersdatierung deuten auf eine Mischung unterschiedlich alten Meerwassers und süßem Grundwasser hin und lassen demnach nur Abschätzungen hinsichtlich der Grundwasseralter zu. Nichtsdestotrotz lässt sich über die Tritium- und Helium-Gehalte ein Ansteigen des Grundwasseralters Richtung Niedrigwasserlinie erkennen.

Mit Hilfe der Wasserstandsdaten und einer zeitlich gemittelten Topographie wurde mit der USGS Software SEAWAT ein 2-dimensionales, dichteabhängiges Strömungsmodell aufgebaut. Dieses hatte das Ziel, die gemessene Salzverteilung und die Grundwasseralter und damit die Strömungsmuster und Aufenthaltszeiten in erster Näherung modellhaft abzubilden. In einem nächsten Schritt soll mit dem Modell untersucht werden, wie sich Änderungen in der intertidalen Strandtopographie auf das Grundwasserströmungsregime auswirken.

O 9.11: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 15:45-16:00

Was Oberflächengewässer über das Grundwasser verraten

Gunnar Lischeid¹, Ralf Dannowski¹, Thomas Kalettka¹, Christoph Merz¹, Jörg Steidl¹

¹ Institut für Landschaftswasserhaushalt, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
Kontakt: lischeid@zalf.de

Das norddeutsche Tiefland weist eine hohe Dichte von Fließgewässern, Seen und kleinen Standgewässern (Sölle) auf. In der Regel sind sie hydraulisch mit einem oberflächennahen Grundwasserleiter verbunden. Somit lassen Messungen in den leicht zugänglichen Oberflächengewässern Rückschlüsse über den obersten Aquifer zu.

Am Beispiel des 170 km² Quillow-Einzugsgebietes in Nordostdeutschland wurde dieses Potential systematisch untersucht. Das mittels Flugzeug-gestütztem Laserscan erstellte räumlich hoch aufgelöste Geländemodell der Region erfasst auch die Wasserspiegel in den Oberflächengewässern zum Zeitpunkt der Befliegung. Die mittlere Messpunktdichte lag bei 12 Messpunkten pro km². Unter der Annahme, dass diese Gewässer alle im hydraulischen Kontakt zum obersten Grundwasserleiter stehen, wurde aus diesen Daten ein Grundwassergleichenplan erstellt. Nachfolgende Plausibilitätsprüfungen bestätigten die zugrundeliegende Annahme. Anhand des Grundwassergleichenplans wurden wiederum die Einzugsgebiete für ausgewählte Sölle bestimmt, die sich deutlich von den per Topographie abgegrenzten Einzugsgebieten unterschieden.

Dagegen ließ die Beschaffenheit der Oberflächengewässer nur sehr eingeschränkte Rückschlüsse auf die des obersten Grundwasserleiters zu. In den Fließgewässern ist generell von einer Mischung oberflächennahen und tiefen Grundwassers auszugehen, wobei das Mischungsverhältnis saisonal und überjährig stark variieren kann. Aufgrund der hohen biologischen Aktivität in den Söllen weisen diese zeitlich stark schwankende Konzentrationen der Nährstoffe und der Redox-sensitiven Parameter auf.

Literatur

Lischeid, G., Balla, D., Dannowski, R., Dietrich, O., Kalettka, T., Merz, C., Schindler, U. & Steidl, J. (2017): Forensic hydrology: What function tells about structure in complex settings. *Environmental Earth Sciences* 76:40, DOI: 10.1007/s12665-016-6351-5

O 9.12: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 16:00-16:15

Die Bedeutung von Fluss-Grundwasser-Interaktionen für die Grundwasserdynamik in alpinen Tälern (Murtal, Österreich)

Johannes Christoph Haas¹, Steffen Birk¹

¹ Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz Geocenter; FWF-DK Climate Change, Karl Franzens Universität Graz
Kontakt: johannes.haas@uni-graz.at

Anhand von standardisierten hydrologischen Zeitreihen untersuchen wir am Beispiel des österreichischen Murtals die Interaktionen zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser sowie deren Relation zu Niederschlag und Evapotranspiration [1].

Hierbei zeigen sich Unterschiede zwischen den verschiedenen Teilregionen entlang des Tals. Im alpinen Bereich zeigt sich erwartungsgemäß, dass das flussnahe Grundwasser höher mit dem Fluss korreliert ist als das flussferne. Innerhalb eines inneralpinen Beckens finden sich jedoch auch Grundwassermessstellen, die vom Oberflächenwasser weitgehend entkoppelt scheinen und einem tieferen Aquifer zugeordnet werden können. In einem engen Talabschnitt fallen diese Messstellen weg, aber auch hier zeigt sich ein Einfluss der Positionierung der Messstellen, welche der Besiedlung und Industrie im Tal und damit dessen breiteren Becken folgt.

Im weiteren Verlauf erreicht die Mur die großen voralpinen Becken des Grazer und Leibnitzer Feldes, wo sich eine erhöhte Korrelation der Grundwasserstände mit dem Niederschlag und eine abnehmende Korrelation zwischen Grundwasser und Fluss zeigt. Dementsprechend zeigen die Grundwassermessstellen auch untereinander höhere Korrelationen als im alpinen Teil des Tals. Insbesondere im Grazer und Leibnitzer Feld sind die Oberflächengewässer allerdings nur spärlich mit langjährig betriebenen Pegelmessstellen ausgestattet, sodass für die hier durchgeführten Langzeitbetrachtungen kaum lokale Daten vorhanden sind.

Eine detailliertere Betrachtung der einzelnen Zeitreihen erlaubt wesentliche Rückschlüsse in Bezug auf die Auswirkungen von Hochwässern und flussbaulichen Maßnahmen. Insbesondere in den engen, alpinen Talbereichen spiegelt sich deren Einfluss deutlich in den Grundwasserständen wider. Inwieweit nur flussnahe oder auch weiter entfernte Grundwassermessstellen auf Extremereignisse ansprechen, wird einerseits durch die Ereignisdauer und andererseits durch die Diffusivität des Aquifers bestimmt. Darüber hinaus spielt auch die Wirkung des Talrandes als Aquiferbegrenzung eine große und bislang wenig beachtete Rolle. Flussbauliche Maßnahmen wie die Errichtung von Wasserkraftwerken beeinflussen nicht nur den Wasserstand im Fluss, sondern auch die Dynamik der Wasserstände der umliegenden Aquiferbereiche. Ohne genaue Kenntnisse der Bauorte und Zeiträume, kann dies bei der Datenanalyse zu Fehlinterpretationen führen, insbesondere bei Untersuchungen in Bezug auf Extremereignisse.

Literatur

[1] Haas, J.C. & Birk, S. (2017): Characterizing the spatiotemporal variability of groundwater levels of alluvial aquifers in different settings using drought indices *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, 2421-2448

O 9.13: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 16:15-16:30

Beurteilung von Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktionen auf Basis isotopenhydrologischer Analysen

Diana Burghardt¹, Luisa Schmidt¹, Rudolf Liedl¹, Susanne van den Berg-Stein², Hans Jürgen Hahn²

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, TU Dresden

² Institut für Grundwasserökologie GmbH, Landau i.d. Pfalz

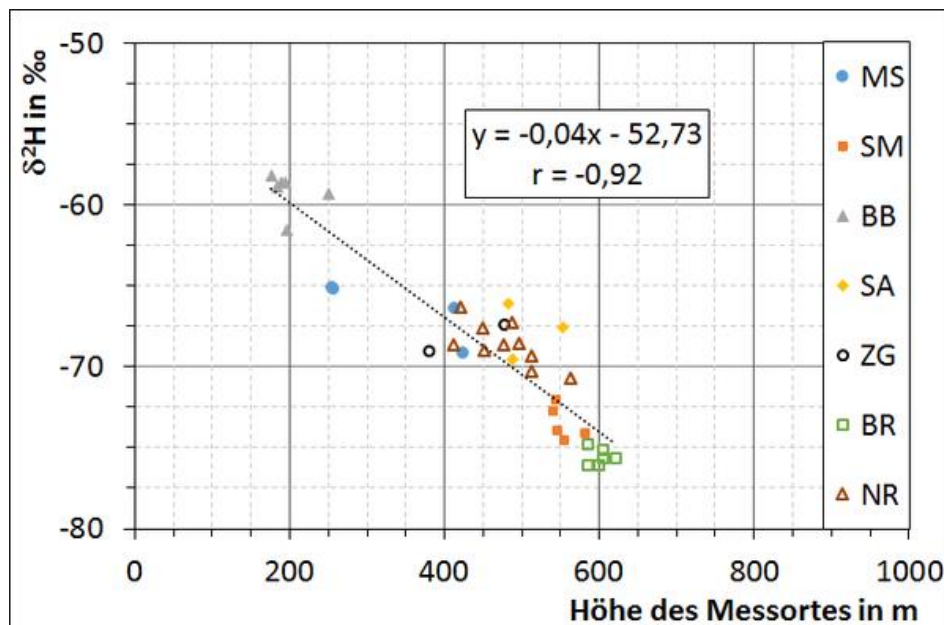
Kontakt: diana.burghardt@tu-dresden.de

Für den Schutz von Grundwasserressourcen sind Informationen zu Grundwasserneubildungsgebieten und Wechselwirkungen mit Oberflächenwässern von wesentlicher Bedeutung. Oberflächen- und Niederschlagswässer unterscheiden sich aufgrund von Verdunstungs- und Kondensationsprozessen von Grundwässern in ihren $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -

Stabilisotopenverhältnissen. Diese ändern sich nach dem Eintritt in die Grundwassersysteme nur noch durch Mischung mit den Grundwässern (Geyh, 2000, Ptak et al., 2004). Damit können $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H}$ als natürliche Tracer zur Identifikation der Herkunft und Zusammensetzung eines Wassers genutzt werden.

Im Rahmen des BMBF-Projektes StygoTracing-EZG (FKZ 031B0245) wird derzeit durch die Institut für Grundwasserökologie GmbH ein innovative, Mikrosatelliten-basiertes, faunistisches Tracerverfahren (Patent EP 3115464) zur Identifikation von Oberflächenwasser-Grundwasser- Wechselwirkungen in Freilanduntersuchungen erprobt. Hierfür wurden Untersuchungsgebiete in Bayern (n=4), Baden-Württemberg (n=1), Rheinland-Pfalz (n=1) und Sachsen (n=1) ausgewählt und insgesamt 73 Grund-, Quell- und Bachwässer im Herbst 2016 und z.T. nochmals im Frühjahr 2017 beprobt. Zur Validierung dieser Biotracer-Methodik wurden dabei jeweils Proben für die $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^2\text{H}$ -Analytik genommen und im Institut für Grundwasserwirtschaft der TU Dresden mittels HT-IRMS (Hochtemperaturpyrolyseofen, HEKAtech und MAT 253, Thermo Fisher Scientific) analysiert.

Bei der Auswertung der Stabilisotopenanalysen wurden zunächst für die Wasserproben eines Untersuchungsgebietes (UG) Niederschlagswasseranteile mit Hilfe einer Zweikomponenten- Mischungsrechnung abgeschätzt. Als Eingangssignale wurden dabei jeweils die langjährig gewichteten, höhenkorrigierten $\delta^{18}\text{O}$ - bzw. $\delta^2\text{H}$ -Werte des Niederschlages einer nahegelegenen GNIP- Niederschlagsstation sowie $\delta^{18}\text{O}$ bzw. $\delta^2\text{H}$ einer vom Niederschlag nicht (oder kaum) beeinflussten Grundwasserprobe (negativste $\delta^{18}\text{O}$ -/ $\delta^2\text{H}$ -Werte im UG) verwendet. Damit konnten niederschlagsgeprägte Grundwasserproben (Anteil der Niederschlagsisotopensignatur >50%, n=10) identifiziert und von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen werden. Anschließend wurden für $\delta^2\text{H}$ bzw. $\delta^{18}\text{O}$ der geogen geprägten Grundwasserproben (mit Niederschlagsanteilen zwischen 13% und 33%) und der mittleren Höhe des UG bzw. mittleren Entfernung zum Meer (GNIP-Station Norderney) lineare Regressionsbeziehungen ($r = 0,73$ bis $0,92$) ermittelt (Bsp. in Abb. 1). Im Bezug zur topografischen Höhe von zwei nahegelegenen GNIP-Stationen war es nun möglich, für jedes UG die mittlere Höhenlage des Grundwasserneubildungsgebietes abzuschätzen. Die ermittelten Höhen (680 – 990 m ü NN) konnten bzgl. der lokalen Topografie als plausibel eingeschätzt werden. Auf Basis einer Clusteranalyse nach dem Medianverfahren wurden abschließend Ähnlichkeiten zwischen den einzelnen UG geprüft. Diese sind offenbar nicht nur durch deren räumliche Nähe, sondern auch durch ähnliche Grundwasserneubildungshöhen bedingt.



Literatur

- Geyh, M.A. (2000): Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle – Principles and Applications -Volume IV: Groundwater Saturated and Unsaturated Zone, IAEA, Hannover
- Ptak, T. et al. (2004): Tracer tests for the investigation of heterogeneous porous media and stochastic modelling of flow and transport – a review of some recent developments, J. Hydrol, 294: 122-163

O 9.14: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 16:30-16:45

Sölle als Indikatoren für den Wandel hydrologischer Systeme - Ein Ansatz zur Quantifizierung der regionalen Grundwasser/Soll Dynamik mit Hilfe der stabilen Isotope ^{18}O und Deuterium

Christoph Merz¹, Gunnar Lischeid¹, Stuart Vyse², Carlos Acame¹

¹ Institut für Landschaftswasserhaushalt, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

² Institut für Geologische Wissenschaften, AB Hydrogeologie, Freie Universität Berlin

Kontakt: cmerz@zalf.de

Die Wasserstände von kleinen, toteisbedingten Standgewässern (Sölle) ohne Anschluss an einen regionalen Grundwasserleiter reagieren auf Veränderung der klimatischen Randbedingungen wie Niederschlag und Verdunstung. Neben dem atmosphärischen Input spielen zusätzlich Interflow, Schnee und Oberflächenabfluss auf gefrorenen Böden eine wichtige Rolle im Füllungsverhalten. Die beobachtete Dynamik vieler Sollwasserstände der letzten Jahre und Jahrzehnte illustriert durchaus einen Wandel der klimatischen Situation. Eine Veränderung des hydrologischen Systemverhaltens ist aber aufgrund der individuellen Dynamik nur bedingt abzuleiten.

Neuere Beobachtungen in der Uckermark schließen auch eine weitergehende Interpretation des hydraulischen Verhaltens von Söllen nicht aus. Nach diesem Konzept spiegeln die dortigen Sölle eine freie Grundwasseroberfläche an der Schnittstelle des lokalen Grundwasserhorizontes mit der topographischen Geländeoberfläche wider. Die Sölle sind nicht als isolierte hydrologische Senken in der Landschaft zu sehen, sondern als integrativer Bestandteil einer durchflossenen Grundwasserlandschaft mit potenzieller Aussagekraft hinsichtlich des zeitlichen Verhaltens des Grundwassersystems. Damit wären Sölle als Indikatoren für den Wandel hydrologischer Systeme hervorragend geeignet. Allein die große Anzahl von Söllen mit jeweils unterschiedlicher hydrologischer Dynamik lässt jedoch nur in Einzelfällen intensives hydraulisches Monitoring zu.

Zur Ableitung regionaler Systemveränderungen wurde daher ein alternatives Verfahren eingesetzt, das auf der Grundlage der stabilen Isotope ^{18}O und D eine quantitative Abschätzung der Zufluss- und Verdunstungsdynamik von kleinen Standgewässern ermöglicht. Das Verfahren nach Skrzypek et al. 2015 basiert auf der globalen Beziehung von $\delta^{18}\text{O}$ und δD -Werten des Niederschlags, ausgedrückt durch die globale Meteorische Wasserlinie (GMWL) und einer verdunstungsbedingten Abweichung des Sollwassers von der GMWL. Diese Abweichung wird über eine veränderte Steigung der sogenannten Local Water Line, LWL, definiert.

Das eingesetzte Kalkulationsmodell (Hydrocalculator, Skrzypek et al. 2015) ermöglicht eine Quantifizierung der Verdunstungsmenge aus einem Sollkörper auf Grundlage der o.g. funktionalen Zusammenhänge. Dabei werden hydraulische Zustände berücksichtigt, bei denen ein Zufluss aus dem Grundwasser den Verdunstungsverlust kompensiert und die Verweilzeit anhand der $^{18}\text{O}/\text{D}$ -Beziehung berechnet werden kann. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass der Austausch zwischen Grundwasser und Soll 3–5mal höher einzuschätzen ist, als der Anteil des Verdunstungsverlustes. Relative Änderungen der GW-Zuflussanteile über längere Zeiträume spiegeln die Dynamik des gesamten Grundwasserkörpers wider. Aufgrund der unkomplizierten Beprobung und Messung der stabilen Isotope ^{18}O und D kann eine große Anzahl von Söllen über einen längeren Zeitraum analysiert werden und ermöglicht somit eine Einschätzung des hydrologischen Systemverhaltens.

Literatur

Skrzypek, G., Mydlowski, A., Dogramaci, S., Hedley, P., Gibson, J.J. & Grierson, P.F. (2015): Estimation of evaporative loss based on the stable isotope composition of water using "Hydrocalculator." J. Hydrol. 523: 781–789.

StygoTracing – Erste Erfahrungen mit biologischen Tracern im Grundwasser

Susanne van den Berg-Stein¹, Diana Burckgard¹, Hans Jürgen Hahn¹

¹ Institut für Grundwasserökologie IGÖ GmbH

Kontakt: vandenberg@groundwaterecology.de

Im Grundwasser leben zahlreiche Tierarten. Ihre Populationen stehen miteinander in unterschiedlich engem Kontakt. Die Intensität, mit der diese Populationen miteinander kommunizieren und sich vermischen, hängt vor allem vom hydrogeologischen Austausch zwischen deren Standorten ab. Da die Verbreitung der Tiere nur über das Wasser erfolgen kann, sind sie potentielle passive Tracer für hydrogeologische Wechselwirkungen. Dazu allerdings müssen die Verwandtschaftsverhältnisse zwischen den einzelnen Individuen und Populationen bekannt sein: Je enger die Verwandtschaft, so zumindest die Hypothese, desto intensiver die hydrogeologischen Interaktionen.

Der Grad der Verwandtschaft lässt sich mit einer Art Vaterschaftstest für Grundwassertiere feststellen. Dazu hat das Institut für Grundwasserökologie IGÖ GmbH ein genetisches, Mikrosatelliten-basiertes, faunistisches Verfahren – StygoTracing – entwickelt und patentiert (EP 3115464).

Die dabei angewandte Mikrosatellitenanalyse erwies sich als geeignet, selbst einzelne Individuen sicher voneinander zu unterscheiden. Bisher wurde StygoTracing allerdings nur im überschaubaren Rahmen eines Pilot-Trinkwasserversorgungssystems erprobt. Erfahrungen mit Freilandhydrosystemen fehlen bisher noch.

Deshalb wird StygoTracing derzeit im Rahmen des BMBF-Projektes StygoTracing-EZG (FKZ: 031B0245) gemeinsam mit dem Institut für Grundwasserwirtschaft der TU Dresden im Freiland getestet. Als Tracerorganismen dienen Krebstiere (Abb.1).



Abb.1: Manche Hüpfcräben (Größe < 1 mm) sind geeignete Tracerorganismen

Hierfür wurden Untersuchungsgebiete in Bayern (n=4), Baden-Württemberg (n=1), Rheinland-Pfalz (n=1) und Sachsen (n=1) ausgewählt und im Frühjahr 2016 und Herbst 2016 sowie im Frühjahr 2017 insgesamt 186 Grund-, Quell- und Bachwässer faunistisch beprobt.

Mittlerweile liegen genetische Daten vor. Erste Auswertungen lassen auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen plausible Zusammenhänge erkennen. So werden großräumige hydrographische Veränderungen, aber auch die Einflüsse der Eiszeiten, genauso sichtbar wie kleinräumige Wasserflüsse.

Für den Schutz von Grundwasserressourcen sind Informationen zu Grundwasserneubildungsgebieten und Wechselwirkungen mit Oberflächenwässern von wesentlicher Bedeutung. StygoTracing hat das Potential, sich zu einem hochauflösenden Werkzeug für die hydrogeologische Praxis zu entwickeln. Die weiteren Auswertungen werden zeigen, ob diese Hoffnung gerechtfertigt ist.

O 9.16: Vortragsreihe 1, 22.03.2018, 17:00-17:15

Tracing hydrochemical water types and salinization mechanisms in the great Maputo area as a function of groundwater recharge, hydrogeological properties and human activities

Guilherme Nogueira¹, Tibor Stigter²

¹ PhD fellow, Hydrogeology department, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ - Leipzig

² Senior Lecturer in Hydrogeology and Groundwater Resources, IHE-Delft

Kontakt: guilherme_ehn@hotmail.com

Groundwater resources in the Great Maputo area of Mozambique are under continuous pressure due to long droughts, scarce surface waters, inefficient public supply and increasing population growth. Locally high salinities further limit the exploitation of local aquifer, and it is important to study their origin, to correctly target mitigation and adaptation measures. The current study uses a combined hydrochemical-isotopic and multivariate statistical approach to improve the understanding of major factors controlling local hydrochemistry and the origins of inland high salinities in the multi-layered coastal aquifer system. Additionally, a Geographic Information System Multi-Criteria Decision Analysis (GIS-MCDA) is utilized to classify different recharge zones and potentials, based on hydrogeological properties and land use/cover, while recharge rates and periods are calculated through a root zone water balance method, enhancing the hydrosystem interpretation. Achieved results indicate recharge values of up to 30% of precipitation, with important contributions from extreme rainfall events. Higher recharge rates occur in areas with aeolian sediments covered by shrubland, while lower recharge rates occur in agricultural areas, largely due to high evapotranspiration rates. The analysis of hydrochemical and isotopic data allowed clustering of six water groups, varying from fresh (mainly CaHCO_3 , NaHCO_3 and NaCl subtypes) to brackish/salt waters (mainly CaCl_2 , and NaCl subtypes). Inspection of water stable isotopes $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ (between -26.5‰ and +4.4‰, and -4.6‰ and +0.2‰, respectively) and Cl concentrations (0.2 ~ 200 meq/L), together with Na/Cl ratios (0.5 ~ 3.2, low in brackish/salt and elevated in fresh waters) and hydrogeochemical modelling suggest that evaporation and mixing with seawater are major processes defining salinity in the area, followed by water-rock interactions. Together with piezometric and geo-electrical data, $\delta^{18}\text{O}/\text{Cl}$ ratios of brackish/salt groundwater (~ -4.0‰) and brackish/salt surface waters (~ -0.5‰) suggest that: 1) inland brackish/salt groundwater result essentially from mixing between infiltrating fresh waters and small fractions of seawater trapped within the clay layers, the latter possibly emplaced during last transgression periods and remaining of the system; and 2) brackish/salt surface waters result from seepage of brackish/salt groundwater into the river and associated wetland, followed by evaporation, hence increasing overall salinity and $\delta^{18}\text{O}$ values. The source of (old) seawater, rather than halite dissolution, is further corroborated by Br/Cl ratios of brackish/salt water samples (1.2×10^{-3} ~ 1.4×10^{-3}), near or just slightly below the ocean ratio (1.5×10^{-3}). Cation exchange upon salinization is mainly observed in the semi-confined aquifer, while freshening takes place in the phreatic aquifer, especially in areas with high recharge rates, corroborating the identified salinization mechanisms in the area.

References

- Alcala, F.J. & Custodio, E. (2008): Using the Cl / Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal 189–207. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.06.028
- Bonilla Valverde, J., Blank, C., Roidt, M., Schneider, L. & Stefan, C. (2016): Application of a GIS Multi-Criteria Decision Analysis for the Identification of Intrinsic Suitable Sites in Costa Rica for the Application of Managed Aquifer Recharge (MAR) through Spreading Methods. Water 8, 391. doi:10.3390/w8090391
- Bouchaou, L., Michelot, J.L., Vengosh, A., Hsissou, Y., Qurtobi, M., Gaye, C.B., Bullen, T.D. & Zuppi, G.M. (2008): Application of multiple isotopic and geochemical tracers for investigation of recharge, salinization, and residence time of water in the Souss – Massa aquifer, southwest of Morocco 267–287. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.01.022
- Han, D., Song, X.F., Currell, M.J., Yang, J.L. & Xiao, G.Q. (2013): Chemical and isotopic constraints on evolution of groundwater salinization in the coastal plain aquifer of Laizhou Bay, China. J. Hydrol. 508, 12–27. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.10.040
- Narany, T.S., Ramli, M.F., Aris, A.Z., Nor, W., Sulaiman, A., Juahir, H. & Fakharian, K. (2014): Identification of the Hydrogeochemical Processes in Groundwater Using Classic Integrated Geochemical Methods and Geostatistical Techniques, in Amol-Babol Plain, Iran 2014. doi:10.1155/2014/419058

Integrierte Modelle zur nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung

Esther S. van Baaren¹, Gualbert H. P. Oude Essink², Bernhard Becker¹

¹ Deltares

² Deltares, Universiteit Utrecht

Kontakt: Bernhard.Becker@deltares.nl

Anhand dreier Fallbeispiele werden neue Entwicklungen zur integrierten Modellierung und Hilfsmittel zur Einbeziehung von Stakeholdern vorgestellt.

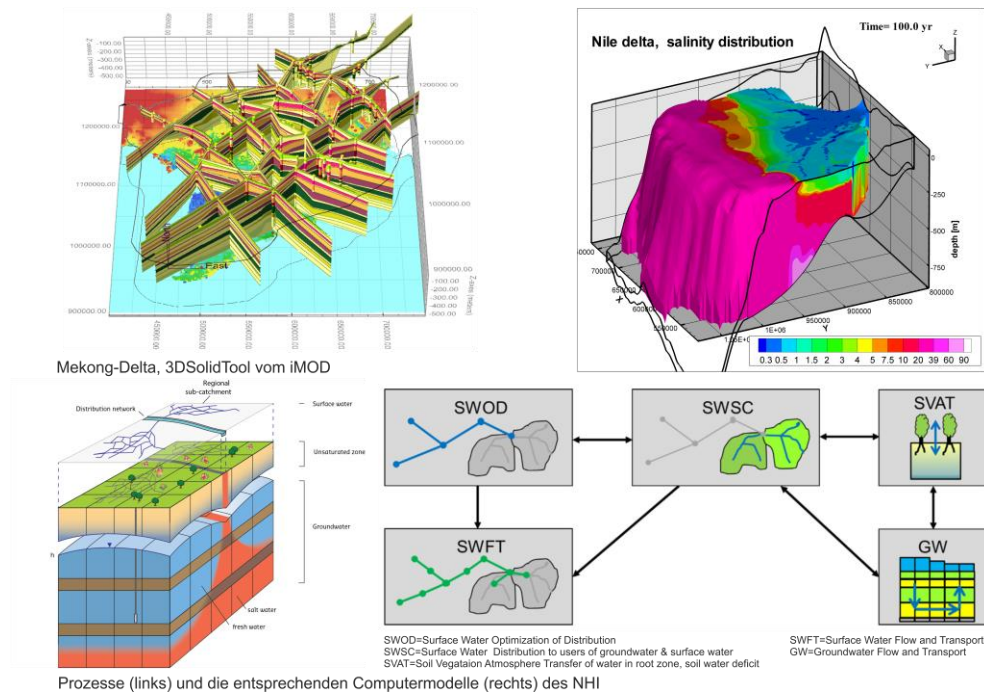


Abb. 1: Fallbeispiele zur integrierten Modellierung Mekong-Delta, Nil-Delta und NHI (Niederlande)

1. Mekong-Delta (Vietnam)

Bewohner des dichtbesiedelten Mekong-Deltas sehen sich mit starken Bodensenkungen infolge hoher Grundwasserentnahmen konfrontiert. Damit einher geht ein erhöhter Salzwassereintrag aus dem Meer. Bevölkerungswachstum und Klimawandel erhöhen den Druck auf die Grundwasserressourcen zukünftig zusätzlich. Wenn Entscheidungsträger und Stakeholder gemeinsam nachhaltige Bewirtschaftungen entwickeln, ist es wichtig, eine gemeinsame Wissensbasis über die relevanten Prozesse zu entwickeln. Dazu wurde ein Modell für das Mekongdelta entwickelt (Minderhoud et al., 2017). Dieses Modell bildet Oberflächenwasser- und Grundwasserströmung (inklusive Dichteströmung) sowie die Bodenbewegung infolge Grundwasserstandsänderungen ab. Kern dieses integrierten Modells ist iMOD (Vermeulen et al., 2014); iMOD bietet Programmfunktionen, mit denen Stakeholder-Involvement unterstützt werden kann. Verschiedene Bewirtschaftungsvarianten können mit diesem Modell transparent evaluiert werden und fließen in den sogenannten Mekong-Delta-Plan ein.

2. Das Nildelta (Ägypten)

Die Versalzung des Grundwassers durch Meerwasser ist eine große Herausforderung der ägyptischen Wasserwirtschaft. Grundwasser wird zur Bewässerung der Ackerbauflächen sowie zur industriellen und öffentlichen Wasserversorgung benötigt. Erwartet wird, dass der Anstieg des Meeresspiegels und der erhöhte Wasserbedarf den Druck auf die knappe Ressource Grundwasser zukünftig erhöhen wird.

Mit dem Ziel, ein Grundwasserbewirtschaftungswerkzeug zur Evaluierung von verschiedenen Grundwasserentnahmeszenarien unter verschiedenen Klimaszenarien zu schaffen, wurde ein neues 3D-Grundwassermodell aufgebaut.

Dieses Modell berechnet die Grundwasserströmung mit variabler Dichte für das gesamte Nildelta (bis 1000 m Tiefe). Das Modell enthält zusätzlich die Offshore-Bathymetrie, um dem Einfluss des Meeresspiegelanstiegs auf den Salzwassereintrag Rechnung zu tragen. Zur Validierung wurde Messdaten des Salzgehaltes erhoben.

3. Das Niederländische hydrologische Modellinstrumentarium (NHI)

Auf Landes- und Verbandsebene wird in den Niederlanden kontinuierlich an Langfrist-Strategien für nachhaltige Wassernutzung und nachhaltigen Hochwasserschutz gearbeitet. Dazu wurde das sogenannte NHI entwickelt. Das NHI integriert verschiedene Modellkomponenten für Strömungs- und Transportprozesse sowie ein Optimierungsmodell für die Wasserverteilung (De Lange 2014). Diese Modellkomponenten sind miteinander gekoppelt, d. h. sie tauschen auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen während der Berechnung Daten aus. Neben der gekoppelten Modellierung der wasserwirtschaftlichen Prozesse stellt das NHI Werkzeuge zum Workflow- und Versionsmanagement zur Verfügung, so dass die Konsistenz in den Eingangsdaten und Berechnungsergebnissen und sichergestellt wird. Das NHI ist über ein Web-Interface für Fachleute frei verfügbar und erreicht so eine hohe Akzeptanz.

Literatur

Minderhoud, P.S.J., Erkens, G., Van Hung, P., Vuong, B.T., Erban, L.E., Kooi, H. & Stouthamer, E. (2017): Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environ. Res. Lett.* 12, 13.

De Lange, W.J., Prinsen, G.F., Hoogewoud, J.C., Veldhuizen, A.A., Verkaik, J., Oude Essink, G.H.P., van Walsum, P.E.V., Delsman, J.R., Hunink, J.C., Massop, H.T.L. & Kroon, T. (2014): An operational, multi-scale, multi-model system for consensus-based, integrated water management and policy analysis: The Netherlands Hydrological Instrument. *Environ. Model. Softw.* 59, 98–108.

Vermeulen et al. (2014): iMOD user manual. https://oss.deltares.nl/documents/298096/0/iMOD_User_Manual_3.0_20140910.pdf

Poster

P 9.1

A water isotope approach to fresh water sources for the North German coast

Michael E. Böttcher¹, Ernst O. Böttcher², Tillman M.C. Böttcher³, Julia Westphal¹, Marko Lipka¹, Iris Schmiedinger¹, Vera Winde¹

¹ Geochemie & Isotopenbiogeochemie, Leibniz Institute für Ostseeforschung (IOW)

² 21339 Lüneburg

³ Cvo Universität Oldenburg

Kontakt: michael.boettcher@io-warnemuende.de

The hydrological cycle is reflected by specific water isotope signatures found in precipitation, surface, and ground waters under the influence by climate boundary conditions. Since fresh waters of different evolution paths and ages enter the coastal areas of the North and Baltic Sea it is expected that they may carry characteristic stable isotope signatures. Informations about the specific composition of different fresh water sources allows for a use in mixing models for the origin of coastal waters. Typically, investigations focus on the partitioning of the isotopes H-1, H-2, O-16, and O-18, but also the new tracer O-17 is included.

We investigated the multi-isotope composition of different sources for fresh waters at sites with relevance for the southern coastal North and Baltic Sea areas (precipitation, river waters, coastal wells, coastal beach springs, fresh waters emerging in and from coastal marine sediments (SGD), coastal peatlands). The composition of precipitation (rain, snow) at different locations in Northern Germany (Lüneburg, Oldenburg, Warnemünde) and the Netherlands (Texel Island) was analyzed to derive local meteoric water lines. Results are compared to measurements at the GNIP station in Cuxhaven (NW-Germany) and the GMWL and meteorological characteristics, like water sources amount- and below-cloud effects for precipitation are evaluated.

Additionally, the hydrogeochemical composition of fresh water samples is analyzed, too, and combined with the multi-isotope results, to better define source-related signatures.

Acknowledgements: The presented research is supported by the DFG GK Baltic TRANSCOAST, and Leibniz IOW.

A temporal iron curtain: The hydro- and multi-isotope geochemistry of iron-rich ground waters emerging at the southern Baltic Sea coast line

Marko Lipka¹, Jürgen Sültenfuss², Zijun Wu¹, Peter Escher¹, Iris Schmiedinger¹, Ulrich Struck³, Olaf Dellwig¹, Vera Winde¹, Michael E. Böttcher¹

¹ *Geochemie & Isotopenbiogeochemie, Leibniz Institute für Ostseeforschung (IOW)*

² *Umweltphysik, Universität Bremen, FRG*

³ *Natural History Museum Berlin, FRG*

Kontakt: michael.boettcher@io-warnemuende.de

Iron-rich groundwater springs emerging at the shoreline of the southern Baltic Sea were examined on a seasonal base for a period of about five years. Besides major, minor, and trace elements, stable isotopes of water (H, O), dissolved inorganic carbon (DIC), and sulfate, tritium and noble gases were analyzed. The stream bed sediment was extracted for the geochemistry of the newly formed precipitates. Subsequently, the hydrogeochemical results were subjected to a thermodynamic analysis via the PHREEQC speciation model.

The springs emerge from small pits (about 60 cm diameter; up to 15cm depth). Surrounding sediments are sandy with gravels found at depth and corresponding high permeability. The positions of different springs on the shore zone were stable during the investigation period while the shape of the pits and the stream beds may vary due to wind- and wave-driven forces. Selected measurements of spring yield discharges close to 10 L/min. The H-2 and O-18 contents of the spring waters indicate the ground water to originate from relatively young mixed meteoric waters. The springs are dominated by dissolved Ca, Mg, Na, DIC and sulfate, mainly reflecting the interaction with soils and bedrocks in the recharge area. The oxygen-free ground water is rich in Fe, P, and DIC. Dissolved Fe and SO₄ originate from the oxidation of pyrite. The C isotope signature of DIC indicates a mixture of biogenic CO₂ from the soil zone with further water-rock interaction with carbonate minerals. The streams flow towards the BS and, in Kontakt with the atmosphere, outgas carbon dioxide and takes up oxygen. Upon CO₂-degassing, ¹²C is preferentially desorbed from the aqueous solution. The changes in the stream composition lead to the formation of FeOOH precipitates in the stream bed before the waters pass to underground drainage into a subterranean mixing zone with brackish BS waters. These ochrous precipitates act as a sink for dissolved phosphate and minor calcium. P : Fe ratios and Ca : Fe ratios are about 0.08 and 0.2, respectively, which are caused by P adsorption and a mixture with minor CaCO₃ and/or Ca-phosphate. dating with the tritium-noble gas method yield average ages of the emerging ground waters of around 25 to 32 years with different mixing proportions of tritium-free waters.

The investigation reveals that the surface precipitation on the beach leads to the formation of SGD essentially free of dissolved iron and strongly depleted in phosphate. Similar iron phases are an important part of the subterranean estuary at that coast line, where retention of nutrients and heavy metals influence the release of nutrients into the coastal ecosystem. Fe- and P-rich surface precipitates, however, are transported in suspension into the Baltic Sea during wind-driven flood events.

Acknowledgements: This work was partly supported by the BONUS⁺ project AMBER, the DFG graduate research training group BALTIC TRNASCOAST and the Leibniz IOW.

Umweltverhalten von organischen Gadoliniumkomplexen

Robert Brünjes¹, Philipp Höhn¹, Thilo Hofmann¹

¹ Department für Umweltgeowissenschaften und Forschungsverbund Umwelt, Universität Wien, Österreich

Kontakt: robert.bruejnes@univie.ac.at

Abwasserbeeinflusste Oberflächenwässer enthalten häufig durch den Eintrag von anthropogenen Gadoliniumkomplexen aus der MRT-Diagnostik erhöhte Gadoliniumkonzentrationen. Trotz der relativ geringen und spezifischen Applikationsmengen, ist anthropogenes Gadolinium ein nahezu idealer Abwassertracer und wurde bereits in einer Reihe von hydrogeologischen Studien zur Untersuchung von Oberflächen-Grundwasser Interaktionen verwendet (Massmann et al., 2004; Rozemeijer et al., 2012; Hissler et al., 2014; Bichler et al., 2016). Neben der Detektion von abwasserbeeinflusstem Grundwasser mittels anthropogenem Gadolinium wurde auch dessen zeitliche Konzentrationsvariation im Oberflächenwasser genutzt, um Verweilzeitverteilungen von Uferfiltrat zu errechnen (Brünjes et al., 2016).

Inertes Verhalten ist die Voraussetzung für die Nutzung als Tracer. Bei anthropogenem Gadolinium gehen die Studien durch die hohe Stabilität der Gadoliniumkomplexe davon aus, dass diese nicht transformiert werden. Einige Untersuchungen und Studien zeigen, dass diese Annahme nicht ausnahmslos gültig ist. Zum Beispiel zeigten Birka et al. (2016), dass die Komplexe unterschiedliche Stabilitäten gegenüber UV-Strahlung haben. Diese Tendenz deckt sich mit Untersuchungen zur Stabilität von verschiedenen Gadoliniumkomplexen im menschlichen Organismus (Morcos, 2008).

Der Transport und Verbleib von anthropogenem Gadolinium in der Umwelt ist neben der Stabilität der anthropogenen Komplexe von weiteren hydrogeochemischen Faktoren abhängig, die auch andere Seltene Erden Elemente (SEE) kontrollieren (Davranche et al., 2015). Der Transport von SEE wird vorallem mit natürliche gelösten organischen Komponenten (DOC) assoziiert (Pédrot et al., 2010). Die Unterscheidung zwischen natürlichen und anthropogenen Gadoliniumkomplexen ist bei der Bewertung des Umweltverhaltens folglich von zentraler Bedeutung.

Aus diesem Anlass wurden neben der Stabilität der Gadoliniumkomplexe gegenüber verschiedener Umwelteinflüsse auch anthropogene Einflussfaktoren aus der Abwasserreinigung bzw. Trinkwasseraufbereitung betrachtet. Daraus soll ein differenzierteres Bild vom Verhalten und Verbleib von anthropogenen eingetragenen Gadoliniumkomplexen in der Umwelt abgeleitet werden.

Literatur

- Bichler, A., Muellegger, C., Brünjes, R. & Hofmann, T. (2016): Quantification of river water infiltration in shallow aquifers using acesulfame and anthropogenic gadolinium. *Hydrological Processes* 30 (11): 1742–1756 DOI: 10.1002/hyp.10735
- Birka, M., Roscher, J., Holtkamp, M., Sperling, M. & Karst, U. (2016): Investigating the stability of gadolinium based contrast agents towards UV radiation. *Water Research* 91: 244–250 DOI: 10.1016/j.watres.2016.01.012
- Brünjes, R., Bichler, A., Höhn, P., Lange, F.T., Brauch, H.J. & Hofmann, T. (2016): Anthropogenic gadolinium as a transient tracer for investigating river bank filtration. *Science of the Total Environment* 571: 1432–1440 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.105
- Davranche, M., Gruau, G., Dia, A., Marsac, R., Pédro, M. & Pourret, O. (2015): Biogeochemical Factors Affecting Rare Earth Element Distribution in Shallow Wetland Groundwater. *Aquatic Geochemistry* 21 (2–4): 197–215 DOI: 10.1007/s10498-014-9247-6
- Hissler, C., Stille, P., Guignard, C., Iffly, J.F. & Pfister, L. (2014): Rare Earth Elements as Hydrological Tracers of Anthropogenic and Critical Zone Contributions: A Case Study at the Alzette River Basin Scale. *Procedia Earth and Planetary Science* 10: 349–352 DOI: 10.1016/j.proeps.2014.08.036
- Massmann, G., Knappe, A., Richter, D. & Pekdeger, A. (2004): Investigating the influence of treated sewage on groundwater and surface water using wastewater indicators in Berlin, Germany. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 32 (4–5): 336–350 DOI: 10.1002/ahch.200400543
- Morcos, S.K. (2008): Extracellular gadolinium contrast agents: Differences in stability. *European Journal of Radiology* 66 (2): 175–179 DOI: 10.1016/j.ejrad.2008.01.025
- Pédrot, M., Dia, A. & Davranche, M. (2010): Dynamic structure of humic substances: Rare earth elements as a fingerprint. *Journal of Colloid and Interface Science* 345 (2): 206–213 DOI: 10.1016/j.jcis.2010.01.069
- Rozemeijer, J., Siderius, C., Verheul, M. & Pomarius, H. (2012): Tracing the spatial propagation of river inlet water into an agricultural polder area using anthropogenic gadolinium. *Hydrology and Earth System Sciences* 16 (8): 2405–2415 DOI: 10.5194/hess-16-2405-2012

Kurzsäulenversuche zum Abbau organischer Spurenstoffe in der Infiltrationszone von Berliner Seen

Leon Diehl¹, Victoria Burke¹, Gudrun Massmann¹

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, AG Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt, Uhlhornsweg 84, 26129 Oldenburg
Kontakt: leon-diehl@kabelmail.de

Die Wasserversorgung der deutschen Metropole Berlin basiert auf dem Prinzip eines teilgeschlossenen Wasserkreislaufs (van Baar, 2015). Hierbei dient die Einleitung geklärten Abwassers in angrenzende Oberflächengewässer zum einen der Grundwasseranreicherung, zum anderen werden jedoch auch Rückstände anthropogener Verunreinigungen in den Wasserkreislauf zurückgeführt. Zudem wird Berliner Trinkwasser zu etwa 70% über den Prozess der Uferfiltration gewonnen, weshalb die Abbauprozesse in der Untergrundpassage von großer Bedeutung zur Sicherung der Rohwasserqualität sind (Massmann et al., 2004). Eine wichtige Rolle spielt dabei die hyporheische Zone, die als hochreaktiver Übergangsbereich zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser gilt (Burke et al., 2014).

Um das Abbauverhalten ausgewählter organischer Spurenstoffe anthropogenen Ursprungs zu untersuchen, wurden jeweils fünf ungestörte Sedimentkerne mit einer Länge von 12 cm aus dem Infiltrationsbereich der Berliner Uferfiltrationsstandorte Tegeler See und Wannsee entnommen. Im Labor wurden diese unter kontrollierten Bedingungen mit Oberflächenwasser des jeweiligen Sees beschickt. Über einen Zeitraum von 7 Wochen wurden Proben an den Ein- und Ausläufen der Säulen entnommen um die hydrochemischen Parameter sowie die Spurenstoffkonzentrationen zu bestimmen. Untersucht wurden 10 humanpharmazeutische Verbindungen, 6 relevante Metaboliten sowie ein Lebensmittelzusatzstoff. Ziel dieser Untersuchung war es, standortspezifische Unterschiede und Schlüsselparameter hinsichtlich des Spurenstoffabbaus herauszuarbeiten.

Die Redoxbedingungen während der Versuche ließen sich als oxisch bis nitratreduzierend beschreiben, wobei Unterschiede zwischen den Standorten identifiziert werden konnten. Zudem zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Phosphatkonzentrationen beider Versuchssysteme.

Die folgenden acht Spurenstoffe zeigten persistentes Verhalten im Rahmen der Untersuchungen: Carbamazepin, 10,11-Dihydro-10,11-Dihydroxycarbamazepin, Gabapentin, Primidon, PEMA, Candesartan, Olmesartan und Acesulfam. Währenddessen konnten für Gabapentin Lactam, Pregabalin, Valsartansäure, Metoprolol, Diclofenac, FAA und Oxipurinol Abbauratenkonstanten - unter der Annahme eines Abbaus 1. Ordnung - abgeschätzt werden. Wenngleich keine standortspezifischen Unterschiede hinsichtlich des Spurenstoffabbaus identifiziert werden konnten, lieferten die Untersuchungen Aussagen zur räumlichen Heterogenität des Spurenstoffabbaus.

Literatur

Burke, V., Greskowiak, J., Asmuß, T., Bremermann, R., Taute, T. & Massmann, G. (2014): Temperature dependent redox zonation and attenuation of wastewater-derived organic micropollutants in the hyporheic zone. *Science of the Total Environment*, 482-483: 53-61.

Massmann, G., Knappe, A., Richter, D. & Pekdeger, A. (2004): Investigating the Influence of Treated Sewage on Groundwater and Surface Water Using Wastewater Indicators in Berlin, Germany. *Acta hydrochim. hydrobiol.*, 32: 336-350.

van Baar, P. (2015): Entwicklung und Anwendung von UHPLC-MS Verfahren für organische Spurenstoffe zur Bewertung der Sicherheit der Rohwasserressourcen der Wasserwerke der Stadt Berlin. Technische Universität Berlin.

Grundwasser-See-Interaktion: Bodensee und Ammersee

Dominik Eckert¹, Ulrich Lang¹

¹ Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH

Kontakt: eckert@kobus-partner.com

Im ReWaM-Verbundprojekt SeeZeichen wird der Grundwasserzustrom in den Bodensee mit messtechnischen und modelltechnischen Methoden untersucht. Insbesondere durch die überregionale Bedeutung des Bodensees für die Trinkwasserversorgung in Südwestdeutschland, ist es notwendig den Grundwasserzustrom, als potentiellen Eintragspfad für Schadstoffe, zu lokalisieren und ein quantitatives Verständnis der Zustromraten zu erlangen. Zum Nachweis der Übertragbarkeit, der am Beispiel des Bodensees gewonnenen Erkenntnisse, werden mit dem Ammersee und dem Steißliner See zwei weitere Seen unterschiedlicher Größenordnung im Projekt Seezeichen betrachtet (Bodensee: 473 km², Ammersee: 46,6 km²). Die messtechnische Lokalisierung und Quantifizierung des Grundwasserzustroms geschieht maßgeblich durch die Auswertung natürlicher physikalischer, chemischer und biologischer Tracer-Signale. Zur Quantifizierung des Grundwasserzustroms auf der Einzugsgebietsskala wurde für das Umfeld des Bodensees, sowie für das Umfeld des Ammersees, je ein konzeptionelles hydrogeologisches Modell und, darauf aufbauend, ein numerisches Grundwassermodell erstellt. Weiter wurde für beide Seen ein hydrodynamisches Seemodell entwickelt und mit dem Grundwassermodell gekoppelt, um die Verteilung des Grundwassers, sowie die Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen, in den Seen zu simulieren. Im Rahmen des Vortrags werden die hydrogeologischen Modelle, sowie die Ergebnisse der numerischen Modellrechnungen für die Einzugsgebiete der beiden, im süddeutschen Alpenvorland gelegenen, Seen Bodensee und Ammersee vorgestellt.

Die oberflächennahe Geologie im Bereich des Bodensee sowie des Ammersee, wird durch fluvioglaziale Ablagerungen der letzten Eiszeiten bestimmt. Der Ammersee schneidet mit einer maximalen Tiefe von etwa 81 m bis in die Schichten der Oberen Süßwassermolasse ein. Der Bodensee schneidet mit einer maximalen Tiefe von etwa 251 m bis in die Schichten der Unteren Süßwassermolasse ein. Das Modellgebiet „Bodensee“ umfasst eine Fläche von ca. 6500 km². Im numerischen Grundwassermodell werden die oberflächennahen fluvioglazialen quartären Ablagerungen (Schotterkörper, Moränenablagerungen und Beckensedimente) sowie die unterlagernden tertiären Ablagerungen mit Kontakt zum Bodensee mit insgesamt 7 Modellschichten berücksichtigt. Das Modellgebiet „Ammersee“ umfasst eine Fläche von ca. 450 km². Aufgrund des nur geringen Einschneidens in die tertiären Ablagerungen, spielen diese für den Grundwasserzustrom keine bedeutende Rolle und als Modellunterkante wurde die Quartärbasis angesetzt. Beide Grundwassermodelle wurden für mittlere hydrologische Verhältnisse stationär kalibriert. Die bisher durchgeführte Auswertung der numerischen Modellrechnungen zeigt auf, dass der Grundwasserzustrom in den Bodensee maßgeblich aus den quartären Ablagerungen gespeist wird und zu einem geringeren Anteil aus den geklüfteten Sandsteinen der Oberen Meeresmolasse (Tertiär).

Tidal creeks (Priele) as hot-spots for groundwater exchange on Barrier Islands: an example from Spiekeroog

Benjamin Gilfedder¹, Clarissa Glasser¹, Stefan Durejka¹, Sven Frei²

¹ Limnologische Forschungsstation, Universität Bayreuth, 95447, Universitätsstrasse 30, 95447 Bayreuth

² Lehrstuhl für Hydrologie Universität Bayreuth, 95447, Universitätsstrasse 30, 95447 Bayreuth

Kontakt: benjamin-silas.gilfedder@uni-bayreuth.de

Submarine groundwater discharge can be a controlling factor in water and nutrient cycles in coastal ecosystems. Groundwater discharge and associated nutrient fluxes are controlled by both geomorphology of coastal catchments as well as dynamics at the land-ocean interface e.g. tidal magnitude. The Wadden Sea of Northern Germany is one of the largest regions shaped by tides in the world as well as having active biogeochemistry in the organic-rich mud flats.

The aim of this work was to characterize and quantify groundwater discharge to the coastal zone in space and time, with a particular focus on tidal creeks, using the noble gas ^{222}Rn . We have conducted two field campaigns on the barrier island Spiekeroog, which is an ideal field laboratory due to its well defined hydrological boundary conditions. The investigations took place from February 22 to 26 2016, and from March 14 to 20 2016 in a selected branched tidal creek and its catchment in the eastern part of the island (Ostplate). We have mapped the tidal creek using ^{222}Rn activities as well as biogeochemical parameters (e.g. EC, DOC, Fe, SO_4^{2-}). A continuous measurement station was set-up at the creek mouth and measured ^{222}Rn , O_2 and EC in 15 min resolution for 5 days. The mapping results show that groundwater discharge is highest in areas closed to the dune systems and decreases towards the tidal flat areas. While all samples in the creek had a high salt concentration ($\text{EC} > 30 \text{ mS/cm}$), the samples were also close to the dunes had the largest proportion of salt compared to areas close to the mud flats. The continuous ^{222}Rn measurements showed that the largest groundwater discharge occurred during low tide, when hydrological gradients are likely to be largest towards the sea. While the discharge could be very high over short periods ($\sim 1 \text{ m/d}$), which is likely due to the large tidal amplitude in the North German sea, when averaged over the whole tidal cycle it was similar to previous studies ($15\text{-}26 \text{ cm/d}$). Our work on Spiekeroog suggests that the tidal creek systems are areas of preferential groundwater discharge, particularly from the fresh to brackish groundwater lens that develops under the islands dune system and that this discharge is very dynamic.

P 9.7

Freisetzungs- und Umsatzprozesse des Methans in einem Grundwasser-gepeisten Baggersee

Jan Frederik Hartmann¹, Yannic Wellach¹, Margot Isenbeck-Schröter¹, Frank Keppler¹

¹ Universität Heidelberg, Institut für Geowissenschaften

Kontakt: Jan.Hartmann@geow.uni-heidelberg.de

Im Frühjahr und im Herbst 2017 wurden Messkampagnen zur Charakterisierung des Kohlenstoffumsatzes im Willersinnweiher, einem Baggersee nahe Ludwigshafen (Rheinland-Pfalz), durchgeführt. Der eutrophe Hartwassersee ist etwa 0.17 km^2 groß, bis zu 22 m tief und wird durch sulfat-reiches Grundwasser des oberen Kieslagers gespeist. Typischerweise durchläuft der See eine bis in den Spätherbst bestehende Sommerschichtung und ist mono- bis dimiktisch (Schröder, 2004). Mithilfe eines in der Arbeitsgruppe entwickelten M-CRDS-Messsystems (Hartmann et al., submitted) wurden die Konzentration und die stabile Kohlenstoffisotopenzusammensetzung ($\delta^{13}\text{C}$) von Methan (CH_4) in der Wassersäule bestimmt und durch Messungen der CH_4 Konzentration (GC-FID) und $\delta^{13}\text{C}\text{-CH}_4$ (GC-C-IRMS) im Grund- und Porenwasser, sowie der redoxsensitiven Komponenten Eisen (Fe), Mangan (Mn), Sulfat (SO_4^{2-}) und Sulfid (HS^-) ergänzt. Darauf basierend wurden die Freisetzung und der Umsatz von CH_4 im Willersinnweiher quantifiziert.

Die Ergebnisse unterstützen die Arbeitshypothese, dass der Umsatz von CH_4 im Willersinnweiher eine wichtige Rolle spielt. CH_4 wird vor allem durch das anoxische Grundwasser und durch Umsatzprozesse im anoxischen Seesediment in das Seewasser eingetragen, wobei die Umsatzraten saisonal variieren.

Im Sediment wird CH_4 durch anaerobe Methanoxidation über Sulfatreduktion in der SMT (sulphate-methane transition)-Zone zu einem hohen Anteil umgesetzt. Dabei wird in den Sedimenten des Flachwasserbereichs deutlich weniger CH_4 umgesetzt als in den anoxischen Sedimenten der tieferen Seebereiche. Durch diffusiven Eintrag gelangt CH_4 in das Hypolimnion ($\sim 3000 \text{ nmol/L CH}_4$ und $\delta^{13}\text{C}\text{-CH}_4 -75 \text{ ‰}$) und wird an der Redoxkline über Sauerstoff und möglicherweise auch über Manganoxide oxidiert ($< 20 \text{ nmol/L CH}_4$ und $\delta^{13}\text{C}\text{-CH}_4 -48 \text{ ‰}$). Die oxischen Umsätze in der Wassersäule sind dabei um ein Vielfaches geringer als die anoxischen Umsätze im Sediment. Im Oberflächenwasser (Epilimnium) steigt die CH_4 Konzentration wieder an und ist gegenüber der Atmosphäre übersättigt ($\sim 50 \text{ nmol/L CH}_4$ und $\delta^{13}\text{C}\text{-CH}_4 -53 \text{ ‰}$). Die Quelle von CH_4 im Epilimnium ist vermutlich das Grundwasser. Eine zusätzliche Freisetzung von CH_4 durch autotrophe Organismen ist allerdings nicht auszuschließen (Tang et al., 2016).

Unsere ersten Untersuchungen deuten darauf hin, dass der Willersinnweiher bezüglich atmosphärischem CH_4 als Quelle anzusehen ist. In Zukunft soll das komplette CH_4 Budget des Willersinnweihers detailliert quantifiziert werden, d.h. CH_4 -Quellen und -Senken mit einem Massenbalance-Ansatz untersucht werden.

Wir danken Stefan Rheinberger, Silvia Rheinberger, Christian Scholz sowie Markus Greule für die Unterstützung bei der Analytik.

Literatur

Hartmann, J.F., Gentz, T., Schiller, A., Greule, M., Grossart, H.-P., Ionescu, D., Keppler, F., Martinez-Cruz, K., Sepulveda-Jauregui, A. & Isenbeck-Schröter, M. (submitted): A fast and sensitive method for the continuous in-situ determination of dissolved methane and its $\delta^{13}\text{C}$ -isotope ratio in surface waters.

Schröder, H. (2004): Saisonale Redoxfronten im Kopplungsbereich zwischen Schwefel-, Eisen- und Mangankreislauf im System Seewasser-Sediment-Grundwasser des Willersinnweihers, Dissertation: Naturwissenschaftlich-Mathematische Gesamtfakultät der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.

Tang, K.W., McGinnis, D.F., Ionescu, D. & Grossart, H.-P. (2016): Methane Production in Oxidic Lake Waters Potentially Increases Aquatic Methane Flux to Air, *Environmental Science & Technology Letters*, doi: 10.1021/acs.estlett.6b00150

P 9.8

Spektrale Induzierte Polarisation zur Untersuchung von Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen

Philipp Höhn¹, Flores-Orozco Adrian², Thilo Hofmann¹

¹ Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien

² Department für Geodäsie und Geoinformation, Technische Universität Wien

Kontakt: philipp.hoeHN@univie.ac.at

Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen sind wichtige Prozesse im Hinblick auf die Bereitstellung von Trinkwasser in einwandfreier Beschaffenheit und ausreichender Quantität sowie die Erhaltung des aquatischen Habitats (Brunner et al., 2017). Kenntnisse der Geometrie und Durchlässigkeit der Kolmation eines Gewässerbetts sind notwendig bezüglich der Parametrisierung numerischer Cauchy-Randbedingungen zur Beschreibung von Grundwasser-Oberflächenwasser-Austauschraten. Insbesondere bei Flussbetten ist dahingehend die starke räumliche Heterogenität der hydraulischen Leitfähigkeit problematisch (Naganna et al., 2017) und lässt sich mit Punktmessungen im Regelfall nicht repräsentativ erfassen. Inverse numerische Methoden sind mit relativ hohen Unsicherheiten verbunden und die faseroptische Temperaturmessung (FO-DTS) ist nur bei effluenten Verhältnissen sensitiv (González-Pinzón et al., 2015).

Bildgebende, hochaufgelöste Spektrale Induzierte Polarisation (SIP) könnte eine Möglichkeit sein, räumlich heterogene Infiltrationsraten zu erfassen. Ziel dieser Arbeit ist die Bewertung der Nutzbarkeit dieses Verfahrens zur räumlichen Ableitung der hydraulischen Leitfähigkeit und Mächtigkeit des kolmatierten Flussbetts, sowie der Bathymetrie als Parameter einer Cauchy-Randbedingung. Dazu wurden SIP-Messungen entlang ausgewählter Abschnitte eines ganzjährig infiltrierenden Flusses über einen breiten Frequenzbereich (0,063–225 Hz) durchgeführt. Hierzu wurde eine mit der Messeinheit auf einem Schlauchboot verbundene, vollständig unter Wasser liegende 32-Elektroden-Anordnung (1 m Abstand) verwendet. Begleitend wurden 32 instationäre Auffüllversuche im Flussbett in nach unten offenen Rohren (4,2 cm Innendurchmesser) durchgeführt, um die vertikale hydraulische Leitfähigkeit des Flussbetts (k_v) punktuell zu bestimmen. Die invertierte Verteilung des Realteils der elektrischen Leitfähigkeit (σ') erlaubte die Bestimmung des Flusswasserstands. Im Vergleich zeigte der Imaginärteil (σ'') deutlich größere Variabilität, welche mit einer hohen k_v -Variabilität von $3 \cdot 10^{-2}$ bis $5 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$ einhergeht. Die stärkste Polarisation zeigt sich bei 75 Hz und legt damit Feinkorn als polarisationsverstärkende Längenskala nahe. Die Beziehung zwischen σ'' und k_v zeigt sich, analog zu Laborversuchen (z.B. Revil & Florsch, 2010), als umgekehrt linear aber bei schwacher Korrelation. Als mögliche störende Einflüsse sind dabei (i) die Unterschiede im Beprobungsvolumen und (ii) mögliche Störung der Sedimentlagerung bei der Rohrinstallation zu nennen. Dennoch lässt die σ'' -Verteilung die Existenz einer oberflächennahen, stark polarisierbaren Schicht, wie von einer Kolmationsschicht zu erwarten, vermuten und abgrenzen.

Die Ergebnisse verdeutlichen das Potential, aber auch den nötigen Forschungsbedarf auf der Feldskala, zur Nutzung von SIP-Messungen bei der Ableitung der Parameter im Sinne einer Cauchy-Randbedingung.

Literatur

Brunner, P., Therrien, R., Renard, P., Simmons, C.T., & Hendricks Franssen, H.-J. (2017): Advances in understanding river - groundwater interactions. *Reviews of Geophysics*, 1–37.

González-Pinzón, R., Ward, A.S., Hatch, C.E., Wlostowski, A.N., Singha, K., Gooseff, M.N. & Brock, J.T. (2015): A field comparison of multiple techniques to quantify groundwater–surface-water interactions. *Freshwater Science*, 34(1), 139–160.

Ganna, S.R., Deka, P.C., Ch, S. & Hansen, W.F. (2017): Factors influencing streambed hydraulic conductivity and their implications on stream–aquifer interaction: a conceptual review. *Environmental Science and Pollution Research*.

Revil, A. & Florsch, N. (2010): Determination of permeability from spectral induced polarization in granular media. *Geophysical Journal International*, 181(3), 1480–1498.

P 9.9

Entwicklung einer jungen Süßwasserlinse auf einer sich bildenden Barriereinsel (Ostplate, Spiekeroog)

Tobias Holt¹, Stephan Seibert¹, Janek Greskowiak¹, Jürgen Sültenfuß², Gudrun Massmann¹

¹ *Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg*

² *Institut für Umweltphysik, Universität Bremen*

Kontakt: tobias.holt@uni-oldenburg.de

Süßwasserlinsen übernehmen eine wichtige Funktion in der Trinkwasserversorgung auf Barriereinseln und sind relevant für die dort vorhandenen Küstenökosysteme. Seit den 1970ern entwickelt sich unterhalb der jungen ‚Ostplate‘, dem östlichen Teil der Ostfriesischen Barriereinsel Spiekeroog, eine Süßwasserlinse, die in dieser Studie präsentiert wird. Als Schutzgebiet ausgewiesen, zeichnet sich die ‚Ostplate‘ durch das Nichtvorhandensein von Küstenschutzmaßnahmen aus. Die Bildung der Süßwasserlinse unterliegt daher keiner anthropogenen Einflussnahme, sondern ist vielmehr natürlichen dynamischen Veränderungen (z.B. Sturmfluten, geomorphologischen Veränderungen) ausgesetzt. Vorläufige numerische Modellierungen ergaben, dass es Jahrhunderte dauert, bis die Süßwasserlinse einen stationären Gleichgewichtszustand und ihre maximale Mächtigkeit erreicht haben wird (Röper et al., 2013). Sowohl die zeitliche Entwicklung und vertikale Ausdehnung als auch die tideabhängige bzw. saisonale Dynamik der Süßwasserlinse waren jedoch bislang unbekannt.

Von Nord nach Süd durch Strand-, Dünen- und Salzwiesenbereiche wurden oberflächennahe und tiefendifferenzierte Grundwassermessstellen entlang einer Transekte installiert. Zur Bestimmung der Grundwasseraufenthaltszeiten und der vertikalen Ausdehnung der Süßwasserlinse wurden an den Grundwassermessstellen sowie mittels Direct-Push tiefendifferenzierte Grundwasserproben entnommen. Zur Simulation des Ist-Zustands und der Rekonstruktion der zeitlichen Entwicklung der Süßwasserlinse wurde ein vertikales dichteabhängiges 2-D Strömungsmodell mit der Software SEAWAT erstellt. Die durch die ³H-³He-Analyse ermittelten Grundwasseralter wurden dabei zur Kalibrierung des Modells genutzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Süßwasserlinse gegenwärtig eine vertikale Ausdehnung von 4-5 m aufweist. Der Übergangsbereich zwischen Süß- und Salzwasser stellt dabei keine scharfe Grenze dar, sondern erstreckt sich über einen Bereich von mehreren Metern. Die Grundwasseralter nehmen innerhalb der Süßwasserlinse mit zunehmender Tiefe zu. Mit dem dichteabhängigen Modell konnte die derzeitige Ausdehnung der Süßwasserlinse entlang der Transekte im Profilschnitt abgeschätzt werden. Des Weiteren wurde die zeitliche Entwicklung der Süßwasserlinse rekonstruiert. Zusätzlich ermittelte Grundwasserstände zeigen, dass diese innerhalb der Süßwasserlinse mit dem mittleren täglichen Meeresspiegel korrelieren und Sturmfluten zu einer Anhebung der Süßwasserlinse als Ganzes führen.

Literatur

Röper, T., Greskowiak, J., Freund, H. & Massmann, G. (2013): Freshwater lens formation below juvenile dunes on a barrier island (Spiekeroog, Northwest Germany). *Estuarin, Coastal und Shelf Science* 121-122, 40-50

P 9.10

Experimental Investigation on the Infiltrated Water Movement in Hydraulikaly Connected Groundwater and Surface Water

Zahra Salimi¹, Ali Mahdavi Mazdeh², Stefan Wohnlich³

¹ IKIU

² IKIU & RUB

³ RUB

Kontakt: ali.mahdavi@rub.de

Groundwater pollution by nitrates is one of the most significant environmental problems in the agricultural fields. Many studies have shown that agricultural activities are a significant source of surface and groundwater pollution, because of using the fertilizers. In this study, the effect of farm distance from the surface water in solute transport at the groundwater-surface water interference was investigated experimentally using creative modification on a permeability tank made of Plexiglas in the hydraulic laboratory. This tank has 20 cm width, 120 cm length and 77 cm height which filled by silica sand. It had modified to simulate a cross-section of a river/lake and agricultural lands right-hand side. The groundwater level in upstream and downstream have adjusted with two small tanks on either side of the box. In an ingenious idea, an L – shaped Plexiglas was used to separate outlet flow of river and groundwater. For pollution simulating, Potassium Permanganate were used. Experiments in different hydraulic conditions showed that most of the infiltrated solute and water from agricultural lands near the surface waters goes directly to the surface water. It shows that agricultural land near to the rivers can affect the river pollution not only with surface runoff but also through groundwater. Effect of different hydraulic gradient and slope also studied. The hydraulic behavior of infiltrated water/solute also studied using Potassium Permanganate injection. Photo digitize method used to determine advance pollution cloud.

P 9.11

Experimental Study of the Flow Patterns in Capillary Zone

Ali Mahdavi Mazdeh¹, Stefan Wohnlich²

¹ IKIU & RUB

² RUB

Kontakt: ali.mahdavi@rub.de

Infiltrated solutes from agricultural lands during rainfall or irrigation plays an important role in groundwater and surface water pollution in hydraulically connected groundwater and surface waters. Therefore, the characterization water movement pathways and their effects on solute transport have been studied intensively. However, the complexity of solute movements within the CF not fully elucidated. Some studies, have reported horizontal movement of flow and solutes within the CF. The small scale glass tank in the laboratory of RUB (1.20 m long, 0.62 m high and 0.150 m wide) were used to investigate the flow movement in the capillary fringe. The tank is filled with a real sample of capillary fringe from the study area (Sand and Tongrube Brüggen, Germany). The experiments have done in steady-state water flow conditions and by injecting the fluorescent dye tracer (Uranin) at different depth the flow patterns in the capillary zone where investigated. The results indicate that capillary fringe can be divided into two moving and statutory zones. In the moving zone, 3 flow pattern was observed. An upward horizontal movement and downward horizontal movement were observed near the inflow and outflow boundaries, respectively. However, the flow pattern in the middle part of the capillary fringe is almost parallel to the groundwater table slope. Regarding experimental results, the velocity increases almost linearly towards the groundwater table. Furthermore, in current experimental condition, 30% of the total flow was passed through the capillary fringe. The results of the study confirmed that capillary fringe can play an important role in the transport of infiltrated solutes from agricultural lands.

Ein satellitengestütztes numerisches Modell für regionalen submarinen Grundwasserabfluss am Beispiel von Java, Indonesien

Mithra Hajati¹, Edwin Sutanudjaja², Nils Moosdorf¹

¹ Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung (ZMT)

² Universiteit Utrecht

Kontakt: nils_sci@moosdorf.de

Intensive anthropogene Landnutzung und Verstädterung kann auf tropischen Inseln zu hohen Schadstoffeinträgen durch Fluss- und Grundwasser in die Küstengewässer führen. Während Oberflächengewässer mit einfachen Methoden überwacht werden können, ist direkter Grundwasserabfluss ins Meer („Submariner Grundwasserabfluss“) aufwendiger zu messen und Monitoring-Daten liegen nur selten vor. Es gibt kaum verwertbare Daten über den Einfluss der Grundwasserstoffeinträge auf die Ökosysteme im küstennahen Meerwasser. Ein numerisches Modell wurde entwickelt um die Relevanz von submarinem Grundwasserabfluss und damit assoziierten Stickstoffeinträgen für Küstenregionen mit geringer Datenverfügbarkeit zu berechnen. Dieses Modell basiert ausschließlich auf frei verfügbaren Satellitendaten und ist damit für alle tropischen Regionen mit geringem oder keinem Grundwassermonitoring anwendbar. Das Modell wird hier für die Insel Java präsentiert und diskutiert.

Für das entwickelte Modell wurde die Küste Javas in Küsteneinzugsgebiete aufgeteilt, (1) deren Fläche jeweils zwischen zwei größeren Flüssen, bzw. Flusseinzugsgebieten liegt. Es wird angenommen, dass der im Einzugsgebiet gefallene Niederschlag abzüglich der Evapotranspiration zur Grundwasserneubildung beiträgt und nur aufgrund von saisonalen Überschwemmungsereignissen zu Oberflächenabfluss wird. Der Großteil der Grundwasserneubildung in den Küsteneinzugsgebieten wird daher zu submarinem Grundwasserabfluss.

Die vadosa Zone und der Grundwasserleiter werden vereinfacht als Speicher simuliert. Anhand dieser Speicher werden Grundwasserneubildung, kapillarer Aufstieg, Oberflächenabfluss und SGD berechnet. Diese Wasserflüsse von und zu den Speichern werden durch die jeweilige Rezessionskonstante bestimmt, die von den Einzugsgebietseigenschaften abhängt. Je größer die vadosa Zone gewählt wird, desto größer wird der submarine Grundwasserabfluss, da weniger Wasser als Oberflächenabfluss abfließt. Der meiste Oberflächenabfluss findet sich in alluvialen Einzugsgebieten mit geringer Durchlässigkeit und Geländehöhe, den geringsten in Karsteneinzugsgebieten mit hoher Durchlässigkeit und höherer Geländehöhe. Ebenfalls wirkt sich eine große horizontale Rezessionskonstante des Grundwasserleiters positiv auf SGD aus. Dieser Einfluss ist größer auf karstifizierte Einzugsgebiete als auf vulkanische und am geringsten auf Alluvialböden. SGD zeigt in den meisten Einzugsgebieten kaum Saisonalität. Diese ist ebenfalls abhängig vom Bodentyp und nimmt aber mit steigender Grundwasserneubildung und steigender horizontaler Rezessionskonstante zu.

Das entwickelte Modell ist das erste, das ausschließlich auf satellitengestützten Fernerkundungsdaten basiert und den zeitlichen Ablauf von submarinem terrestrischen Grundwasserabfluss auf regionaler Skala darstellen kann. Hiermit können ohne in-situ Daten Küstenabschnitte identifiziert werden, die durch hohe Grundwassereinträge anfällig für hohe anthropogene Stoffeinträge ins marine Ökosystem sind.

Bildung von Eisenhydroxyden durch Oxidation

Andrea Niedermayr¹, Dennis Gohlke¹, Fateh Zafar¹, Frank Wisotzky¹

¹ Angewandte Geologie - Hydrogeologie, Ruhr Universität Bochum

Kontakt: andrea.niedermayr@rub.de

Eisenhydroxyde finden einerseits seit Jahrtausenden Anwendung als Farben für Höhlenmalereien bis hin zu Hausanstrichen und als Tracermittel in der diagnostischen Medizin, sowie auch Anwendungen für medizinische Therapien.

Andererseits können Eisenhydroxyausfällungen auch Rohrleitungen, Brunnenfilter bzw. den Gesteinskörper verstopfen und führen so zu hohen Brunneneintrittsverlusten, bzw. Verblockungen von Rohrleitungen.

Im Zuge dieser kombinierten Feld- und Laborstudie werden die Ausfällungskinetik, die mineralogische und morphologische Entwicklung von Eisenhydroxyden, sowie die geochemische Entwicklung von Eisen und Sauerstoff in sauren Wässern untersucht.

In der Natur bilden sich Eisenhydroxyde durch Sauerstoffaufnahme von reduzierten Wässern, oft in Verbindung mit CO₂ Entgasung, wie beispielsweise bei den Kohlensäuerlingen in der Eifel. Durch die Sauerstoffaufnahme bildet sich in den ersten Minuten Ferrihydrit (Abb. 1a und Abb. 1c), der in wenigen Minuten in Goethit (Abb. 1b) oder Hämatit (Abb. 1d) umgewandelt wird.

Die Eisenkonzentration sinkt dabei ab. Im Feld und im Batch-Experiment (500 ml) wurde eine Abnahme der Eisenkonzentration um 1,6 mg/l beobachtet, die Zeit war hierfür im Experiment 30 min, während das Wasser entlang der 250 cm langen Fließstrecke nur ca. 1 min floss, dies ist auf die hohe Turbulenz und große Wasseroberfläche, bzw. große Festkörperoberfläche im Feld zurück zu führen. Die Sauerstoffaufnahme betrug im Feld 9 mg/l in ca. einer Minute, im Experiment wurden 3,5 mg/l in 30 min beobachtet. Der E_H Wert sank um 40 mV (im Feld), bzw. 14 mV (im Labor), während der pH-Wert im Feld von 6,23 auf 6,33 um 0,1 aufgrund der CO₂-Entgasung Anstieg. Im Labor wurde eine leichte Abnahme aufgrund der Eisenhydroxydausfällung beobachtet.

Die Verläufe der [O₂], [Fe]-Konzentrationen und kontinuierlich aufgezeichnete pH-Werte und E_H-Werte werden verwendet um Modellierungen zur Kinetik der Eisenausfällung bei Sauerstoffaufnahme und CO₂-Entgasung durch zu führen und um in weiteren Untersuchungen und Experimenten Inhibitoren der Eisenausfällung zu identifizieren.

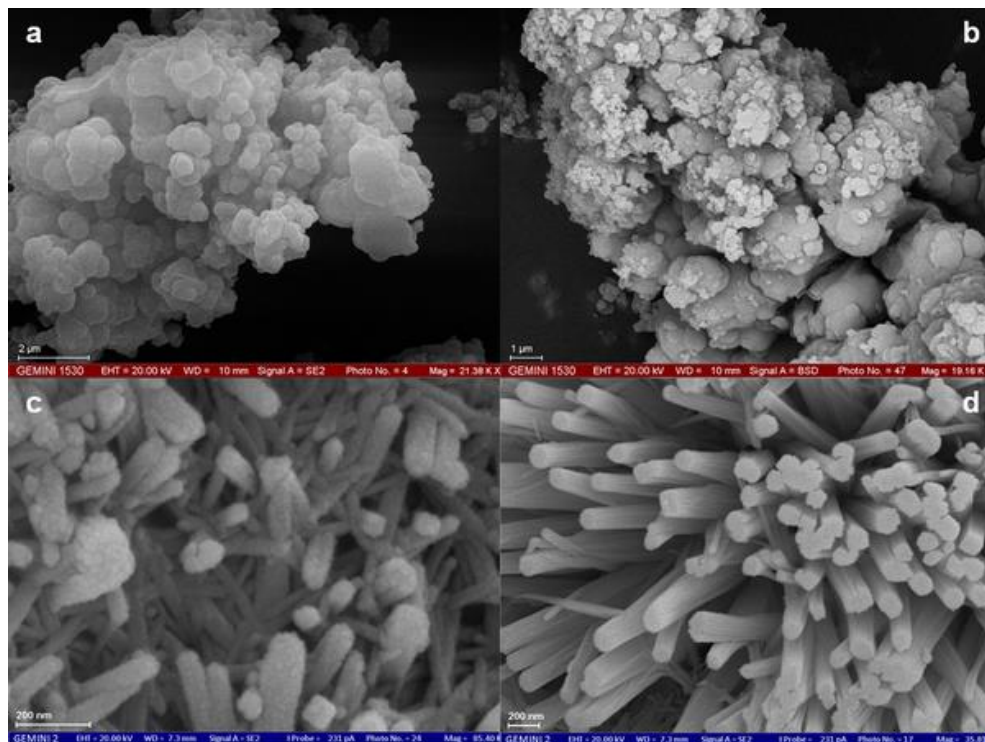


Abb. 1: a) Ferrihydrit beim Auslass (rötliche Färbung), bzw. b) Goethit + Ferrihydrit nach 250 cm Fließstrecke (ca. 1 min Fließzeit; Oker-Färbung); c) Ferrihydrit (kugelig) und Hämatit (stengelig) nach 5 min, bzw. d) Hämatit nach 4 Stunden im Experiment.

Simulation von Infiltrationsprozessen während der Versickerung von gereinigten Abwässern mit PCSiwaPro®

Robert Pinzinger¹, Peter-Wolfgang Gräber¹, Falk Händel¹, Christian Engelmann¹, Rudolf Liedl¹, René Blankenburg²

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, TU Dresden

² Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH

Kontakt: robert.pinzinger@tu-dresden.de

Die zentrale Entsorgung von gereinigten Abwässern ist oftmals in Regionen mit geringer Bevölkerungsdichte oder weitläufiger Bebauung nicht wirtschaftlich. Hier kann die dezentrale Aufbereitung und Entsorgung ein probates Mittel sein. Dies hängt jedoch auch von den Entsorgungsmöglichkeiten des anfallenden gereinigten Abwassers ab. Dies kann entweder in eine Vorflut eingegeben werden oder direkt zur Versickerung in den Untergrund gebracht werden. Letzteres bedarf jedoch der Bewertung der Versickerungsfähigkeit des Bodens und gleichzeitig der Bewertung der Aufenthaltszeiten des Wassers um schadhafte Veränderung der Grundwasserressourcen zu vermeiden. Für eine adäquate Planung müssen dabei geeignete Werkzeuge entwickelt werden.

Ein Beispiel für derartige Werkzeuge stellt die Software PCSiWaPro dar. Dabei handelt es sich um ein Simulationsprogramm, welches die Strömungs- und Stofftransportprozesse in der Bodenzone unter variabel gesättigten hydraulischen Bedingungen berechnen kann. Für die Strömung und den Wasserhaushalt wird die Richards'-Gleichung verwendet und mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FE) für 2D-vertikal-ebene oder rotationssymmetrische Problemstellungen gelöst. Der Stofftransport wird durch Anwendung der Konvektions-Dispersions-Gleichung simuliert. Das Programm verfügt über eine Benutzeroberfläche mit Netzgenerator für Dreieckselemente, Randbedingungseditor und verschiedene Möglichkeiten zur Visualisierung der Modellergebnisse. Da insbesondere bei der Versickerung von Wasser auch atmosphärische Randbedingungen wie Niederschlag, Verdunstung und Transpiration einen wesentlichen Einfluss auf die Versickerungsleistung eines Bodens haben, ist ein Wettergenerator implementiert. Dieser generiert auf der Basis realer Klimazeitreihen des DWD zeitvariable Eingangsdaten für Randbedingungen in beliebiger Länge.

Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes wird das Simulationsprogramm aktuell weiter qualifiziert und für die Anwendung auf u.a. Versickerung von gereinigten Abwässern spezifiziert. Erste Arbeiten widmeten sich der Modifikation der Zeitschrittsteuerung zur Verbesserung der Rechenperformance. Es wurden SIMVAL2 und SIMVAL3, zwei Zeit-Integratoren von quadratischer und kubischer Konsistenz, neuentwickelt. Hiermit wurde in ausgewählten Benchmarks eine Beschleunigung der Rechendauer von bis zu 38% (SIMVAL2) und 42% (SIMVAL3) erreicht, wobei die Genauigkeit der Rechenergebnisse, die mit SIMVAL2 und SIMVAL3 berechnet wurden, mit der Genauigkeit der Ergebnisse, die mit dem bisherigen Zeitschrittverfahren berechnet wurden, vergleichbar ist. Weitere Arbeiten werden sich mit anderen noch zu testenden Zeitschrittverfahren befassen. Außerdem soll die Modellierung, die bisher auf lineare 2D-Elemente aufbaut, auf quadratische und kubische Elemente sowie auf 3D-Elemente erweitert werden. Auch sollen Möglichkeiten der Parallelisierung via GPU-Programming untersucht werden.

Untersuchung der Veränderung der Wasserqualität nach Quellaustritt im Bereich der Düsselquellen im Velberter Sattel

Jana Schaaf¹, Frank Wisotzky¹, Andrea Niedermayr¹

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: jana.schaaf@rub.de

Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe steigt seit Jahrzehnten der Anteil an Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre. Die Reaktion von CO₂ mit Gesteinen ergeben globale Säure-Base-Reaktionen, die zur Regulation vieler

Elemente in der Atmosphäre, in Ozeanen und in Gewässern beitragen. Die Ausfällung von Calciumkarbonat (CaCO_3) in Gewässern ist ein wesentlicher Teil des Kohlenstoffkreislaufs (Sigg & Stumm, 2016). Das Carbonatsystem, ein System, dass die Reaktionen der Lösung von CO_2 im Wasser, die Säure-Base-Reaktionen der Kohlensäure (H_2CO_3) und die Auflösung und Fällung von Calciumkarbonat umfasst, ist das wichtigste Puffersystem der natürlichen Gewässer. Es hat direkten Einfluss auf den pH-Wert und die Pufferkapazität sowie mengenmäßig auf die wichtigsten Anionen und Kationen im Gewässer (Wisotzky, 2011).

Im Zuge einer Masterarbeit wurden vier Quellaustritte sowie der weitere Bachverlauf im Velberter Sattel beprobt. Diese Quellen stammen aus Grundwasserleitern der Schichtfolgen des Massenkalkes, Flinzschiefer und der Velberter Schichten aus dem Mittel- und Oberdevon. Diese bestehen aus (1) massigen Kalken, welche zum Teil dolomitisiert und verkarstet sind, (2) Ton- und Mergelschiefern mit lokalen Kalkbänken und (3) sandigen Tonschiefern, die z.T. kalkig sind und Sandsteinbänke aufweisen, die gelegentlich dünne Kalksteineinlagerungen beinhalten (Langguth, 1966).

Die pH-Werte der Quellen liegen zwischen 6,42 und 8,06 und steigen in den folgenden 10 m auf 7,08 bis 8,19 an. Die Leitfähigkeiten liegen zwischen 368 und 713 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Quellaustrittstemperatur liegt bei 11 bis 12,5 °C und das Redoxpotential liegt zwischen 172 und 314 mV und ist umgekehrt proportional zum pH-Wert. Die Säurekapazitäten ($\text{KS}_{4,3}$, $[\text{HCO}_3^-]$) liegen zwischen 2,3 und 5,3 mmol/l und die Basenkapazität ($\text{KB}_{8,2}$, $[\text{freies CO}_2]$) liegen zwischen 0,40 bis 1,05 mmol/l. Teilweise konnte in den folgenden Bachabschnitten eine CO_2 -Entgasung beobachtet werden. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden noch die Konzentrationen von Anionen, Kationen (inkl. Fe^{2+}), H_2S und DOC analysiert.

Aus den gewonnenen Daten werden mit dem geochemischen Computerprogramm PhreeqC die Sättigungswerte und CO_2 -Partialdrücke berechnet um eine Aussage zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht der Quellschichten treffen zu können. Zum Schluss wird die Veränderung der Wasserqualität durch Entgasung bzw. Aufnahme von CO_2 und O_2 quantifiziert. Zu erwarten sind hier vor allem bei der Zugabe von CO_2 erhebliche Veränderungen der Wasserqualität im Hinblick auf das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.

Literatur

Langguth, H.R. (1966): Die Grundwasserverhältnisse im Bereich des Velberter Sattels (Rheinisches Schiefergebirge). 127 S., Düsseldorf Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen.

Sigg, L. & Stumm, W. (2016): Aquatische Chemie – Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer. 6. Auflage, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

Wisotzky, F. (2011): Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrochemische Modellierung – Grundlagen, Anwendung und Problemlösungen. 449 S., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

P 9.16

Einfluss von Bewässerungsmaßnahmen auf Grundwasserressourcen in Pakistan

Lennart Schelter¹, Caroline Ganai¹, Christian Grimm¹, Holger Schüttrumpf¹

¹ Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen

Kontakt: lennart.schelter@rwth-aachen.de

Die globalen Wasserressourcen sind durch wasserintensive Industrien wie die Herstellung von Baumwoll-Textilien, vor allem in ariden und halbtrockenen Regionen, gefährdet. Um die Baumwollproduktion ordnungsgemäß zu bewältigen und damit den Wasserabdruck der Textilprodukte zu reduzieren, ist die Kenntnis der vorhandenen Wassermengen sowie der hydraulischen Prozesse im Boden und Oberflächenwasser von großer Bedeutung. In dieser Arbeit werden die beiden Modelle SOBEK und FeFlow über eine OPEN-MI-Schnittstelle verknüpft, um die spezifischen Bedingungen des Rechna Doab in Pakistan zu modellieren. Dabei spielen die Grundwassernutzung sowie -neubildung, der Abfluss in Kanälen und Flüssen und die Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser eine große Rolle. Das Modell wird mit den vorhandenen Monitoringdaten kalibriert. Zweck des Modells ist es, die Auswirkungen von Bewässerungspraktiken auf Grundwasserressourcen in der Region zu untersuchen.

Abschätzung räumlich-zeitlicher Muster von Grundwasser-Oberflächenwasseraustausch an der Aa, Belgien

Christian Anibas¹, Uwe Schneidewind²

¹ Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel (VUB)

² Department of Engineering Geology and Hydrogeology, RWTH Aachen University

Kontakt: uwschnei@gmail.com

Während der letzten fünfzehn Jahre hat eine stetige Weiterentwicklung der analytischen und numerischen Verfahren stattgefunden, die zur Quantifizierung von Grundwasser-Oberflächenwasseraustauschraten genutzt werden. Eine dabei immer häufiger benutzte Methode ist die Verwendung von natürlicher Wärme als Tracer (Vandersteen et al., 2015, Anibas et al., 2016, Schneidewind et al., 2016). Hier untersuchen wir die räumliche und zeitliche Verteilung der Austauschraten durch Verwendung von Flussbetttemperaturprofilen und Flusswassertemperaturzeitreihen aus der Aa in Belgien.

Die Aa ist ein typischer flämischer Tieflandfluss mit niedrigem Gefälle, teilweise geführt in künstlichem Gerinne und hat ein fein- bis mittelsandiges Flussbett mit variablem Anteil an organischem Material. Die Flussbettsedimente der Aa sind typischerweise kompakter an den Uferbänken, als in der Flussmitte.

Temperaturen in der Aa wurden zu verschiedenen Zeitpunkten zwischen August 2004 und Februar 2007 an 26 Messpunkten entlang des Flusslaufes von 1425 m Länge unter Zuhilfenahme einer selbstentwickelten Temperaturlanze (Anibas et al., 2011) gemessen. Außerdem wurden Flusswassertemperaturen und hydraulische Gradienten aus Piezometernestern kontinuierlich als Zeitreihen gespeichert.

Vertikale Austauschraten wurden mit Hilfe des numerischen Finite-Differenzen Codes STRIVE (Anibas et al., 2009) quantifiziert. Um für den gemessenen Datensatz eine zeitliche Auflösung der modellierten Austauschraten zu erreichen, wurde die Zeitreihe der Flusswassertemperatur dabei als obere Randbedingung verwendet, welche die gemessenen Temperaturprofile zeitlich verbindet. Die daraus resultierende instationäre Modellierung erlaubt eine saisonal unabhängige Berechnung der Austauschraten und des Weiteren auch die Quantifizierung des RMS-Fehlers.

Die modellierten Austauschraten erreichten im Herbst und im Winter Werte von bis zu -90 mmd^{-1} , während sie im Frühling und Frühsommer nur -42 mmd^{-1} erreichten. Es wurde hauptsächlich exfiltrierendes Wasser beobachtet, an einigen Stellen treten jedoch zeitlich veränderliche Fließrichtungen auf, wobei dieses ökologisch wichtige Phänomen besonders im Frühjahr zu beobachten ist. Für den stromaufwärts liegenden Teil des Flussabschnittes wurden generell höhere Austauschraten ermittelt, während im unteren Flussabschnitt die Austauschraten zeitlich stärker variierten (Anibas et al., 2017). Die Austauschraten in Ufernähe waren bis 3-mal größer als in Flussmitte. Der Grundwasser-Oberflächenwasseraustausch an den Flussufern scheint mehr durch kleinräumige, lokale Grundwasserströmung angetrieben zu werden, während das Zentrum des Flusses von tieferen und konstanteren regionalen Grundwasserströmen dominiert wird.

Die räumliche und zeitliche Variabilität der Austauschraten zeigt die Bedeutung von Langzeituntersuchungen in der hyporheischen Zone auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen hin.

Literatur

- Anibas, C., Fleckenstein, J.H., Volze, N., Buis, K., Verhoeven, R., Meire, P. & Batelaan, O. (2009): Transient or steady-state? Using vertical temperature profiles to quantify groundwater-surface water exchange. *Hydrol. Process.*, 23(15), 2165-2177, doi: 10.1002/Hyp.7289.
- Anibas, C., Buis, K., Verhoeven, R., Meire, P. & Batelaan, O. (2011): A simple thermal mapping method for seasonal spatial patterns of groundwater-surface water interaction, *J. Hydrol.*, 397(1-2), 93-104.
- Vandersteen, G., Schneidewind, U., Anibas, C., Schmidt, C., Seuntjens, P. & Batelaan, O. (2015): Determining groundwater-surface water exchange from temperature time series: Combining a local polynomial method with a maximum likelihood estimator. *Water Resources Research*, 51(2), 922-939, doi: 10.1002/2014WR01599.
- Anibas, C., Schneidewind, U., Vandersteen, G., Joris, I., Seuntjens, P. & Batelaan, O. (2016): From streambed temperature measurements to spatial-temporal flux quantification: Using the LPML method to study groundwater-surface water interaction. *Hydrological Processes*, 30, 203-216, doi: 10.1002/hyp.10588.

Schneidewind, U., van Berkel, M., Anibas, C., Vandersteen, G., Schmidt, C., Joris, I., Seuntjens, P., Batelaan, O. & Zwart, H.J. (2016): LPMLE3 - A novel 1D approach to study water flow in streambeds using heat as a tracer. *Water Resources Research* 52(8), 6596-6610, doi: 10.1002/2015WR017453.

Anibas, C., Tolche, A.D., Ghysels, G., Nossent, J., Schneidewind, U., Huysmans, M. & Batelaan, O. (2017): Delineation of spatial-temporal patterns of groundwater-surface water interaction along a river reach with transient thermal modeling, *Hydrogeology Journal*, accepted for publication.

P 9,18

Temperaturmessungen zur Identifizierung des Grundwasseranstromes eines Oberflächengewässers

Sonja Schröter¹, Wilfried Schneider¹

¹ Institut für Wasserressourcen und Wasserversorgung, TUHH

Kontakt: sonja.schroeter@tuhh.de

Im Anstrom eines Baches befindet sich eine Grundwasserkontamination durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe. Trotz der geringen Entfernung, wurden bisher keine Konzentrationen im Oberflächenwasser nachgewiesen. Aufgrund des Alters der Kontamination ist es wahrscheinlich, dass es sich um eine stationäre Schadstoffverteilung handelt. Es ist also auszuschließen, dass die Kontamination das Gewässer noch nicht erreicht hat. Interessant ist es nun zu ermitteln, warum bisher keine erhöhten Konzentrationen im Oberflächengewässer gemessen wurden und zu evaluieren, ob dies auch in Zukunft der Fall sein wird. Final soll diese Frage mit Hilfe eines numerischen Grundwasserströmungs- und reaktiven Stofftransportmodells geklärt werden. Dazu müssen Strömungs- und Stofftransportprozesse im Übergangsbereich zwischen Grund- und Oberflächenwasser möglichst genau untersucht und verstanden werden. Als Kalibrierungsgröße ist die Austauschrate zwischen Grund- und Oberflächenwasser nützlich, da sie wenig Spielraum in der Wahl der relevanten Systemparameter zulässt. Eine einfache und kostengünstige Methode, um Flüsse zwischen den Komponenten Grund- und Oberflächenwasser zu messen, sind Temperaturmethoden. Hierzu werden Temperaturen in verschiedenen Tiefen im Sediment des Oberflächengewässers gemessen, wodurch abgeschätzt werden kann, ob der konvektive und der konduktive Wärmetransport in gleiche oder entgegengesetzte Richtungen wirken. Zusätzlich können die Wasserflüsse quantifiziert werden. Bisher wurden Temperaturen in 2 mehrtägigen Messkampagnen unter Verwendung der Temperatursonde TP 62, der Firma Umwelt Elektronik GmbH gemessen. Hierbei lag der Fokus auf der räumlichen Variabilität der Austauschraten. Diese Information ist relevant, um bevorzugte Fließwege zu identifizieren, die unter anderem interessant sind, um die Messung der Konzentrationen im Oberflächengewässer sinnvoll zu lokalisieren. Des Weiteren sind dauerhaft Mini-Piezometer im Sediment des Oberflächengewässers installiert, in denen Datenlogger in geringer zeitlicher Auflösung Porenwasserpotentiale und Temperaturen aufzeichnen. Hieraus wurden hydraulische Gradienten bestimmt, wodurch eine Änderung des Strömungsregimes im Jahresverlauf erkannt und im Modellierungsprozess berücksichtigt werden kann. Außerdem können die Temperaturen ebenfalls zur Berechnung der Zuflussrate im Jahresgang verwendet werden. Mittels der berechneten hydraulischen Gradienten und den Zuflüssen ist es möglich, die hydraulische Leitfähigkeit der Bachsedimente räumlich differenziert abzuschätzen. Neben der Eignung der Zuflussrate zur Kalibrierung des Modells wird diese Größe auch benötigt, um Frachten in das Oberflächengewässer zu berechnen. Diese Information ist wichtig, um beispielsweise die Notwendigkeit einer Sanierungsmaßnahme abzuschätzen.

Literatur

Anderson, M.P. (2005): Heat as a ground water tracer. In: *Ground water* 43 (6), S. 951–968.

Conant, B. (2004): Delineating and quantifying ground water discharge zones using streambed temperatures. In: *Ground water* 42 (2), S. 243–257.

Kalbus, E., Reinstorf, F. & Schirmer, M. (2006): Measuring methods for groundwater, surface water and their interactions. A review. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 3 (4), S. 1809–1850. DOI: 10.5194/hessd-3-1809-2006.

Schmidt, C., Bayer-Raich, M. & Schirmer, M. (2006): Characterization of spatial heterogeneity of groundwater-stream water interactions using multiple depth streambed temperature measurements at the reach scale. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 10 (6), S. 849–859. DOI: 10.5194/hess-10-849-2006.

P 9.19

Abschätzung von Grundwasserneubildungsraten an einem Dünenstandort auf der Nordseeinsel Spiekeroog mit Hilfe von Tracerexperimenten und Wasserhaushaltsmodellierungen

Stephan Seibert¹, Paul Königer², Inga Großkopf¹, Patrick Hähnel¹, Janek Greskowiak¹, Gudrun Massmann¹

¹ Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, Universität Oldenburg

² Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Kontakt: stephan.seibert@uni-oldenburg.de

Die Süßwasservorkommen der Barriereinseln im Norddeutschen Küstenraum werden ausschließlich durch lokal infiltrierenden Niederschlag gespeist. Nach der Passage durch die ungesättigte Zone in den sandigen Dünensedimenten führt die Versickerung des Niederschlags letztlich zur Grundwasserneubildung. Neben der Bedeutung für die hydrogeologische Charakterisierung der Süßwasservorkommen spielt die Kenntnis der Grundwasserneubildungsrate zudem eine wichtige Rolle für den lokalen Wasserhaushalt.

Die Abschätzung von Grundwasserneubildungsraten erfolgte bereits unter Zuhilfenahme verschiedener Methoden (Lysimeter, Grundwasseralter, Wasserhaushaltsmodelle) auf der Insel Spiekeroog, wobei die Ergebnisse jedoch stark variierten (~300-650 mm/a). Die Variation der Grundwasserneubildungsraten kann wahrscheinlich dem Einfluss verschiedener Geomorphologien, Landnutzungen und Vegetationsbedeckungen zugeordnet werden und zeigt zugleich auf, dass räumlichen Unterschiede der Grundwasserneubildung auch kleinskalig recht ausgeprägt sein können.

Um die lokale Grundwasserneubildungsrate an einem Dünenstandort auf der Ostplate Spiekeroogs zu bestimmen, wurden daher im Frühjahr 2017 Tracerexperimente mit deuteriertem Wasser durchgeführt. Im Anschluss an die Traceraufbringung an zwei Vergleichsflächen im März 2017 erfolgte die Entnahme von 2 ~ 1.2 - 2.4 m langen Bohrkernen und weiteren 3 Bohrkernen wurden jeweils nach 47 Tagen im Mai 2017 und nach 166 Tagen im August 2017 entnommen. Die Bohrkern wurden in 10 cm-Intervallen beprobt und das Bodenwasser jeder Teilprobe wurde quantitativ durch Vakuumextraktion entzogen. Anschließend erfolgte die Bestimmung der isotopischen Zusammensetzung ($\delta^{18}\text{O}$ und δD) des extrahierten Bodenwassers, was Rückschlüsse auf die vertikale Verlagerung des Tracersignals sowie des natürlichen Isotopensignals des infiltrierten Niederschlags ermöglichte.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an beiden Vergleichsflächen zeigen, dass das Tracersignal nach 47 beziehungsweise 166 Tagen um ~0.8 m und ~ 2.6 m in die Tiefe verlagert wurde. Basierend auf diesen Ergebnissen sowie langjährigen klimatischen Daten konnten Wasserhaushaltsberechnungen mit der Software Hydrus 1D durchgeführt werden, welche in einer mittleren jährlichen Grundwasserneubildungsrate von 518 mm/a am Untersuchungsstandort für den Zeitraum 2012-2016 resultierten.

P 9.20

Chemical composition of surface- and groundwater in fast-weathering silicate rocks in the Seiland Igneous Province, North Norway

Ingrid Stober¹, Holger Teiber, Xiaoyan Li, Natalie Jendryszczyk, Kurt Bucher

¹ Angewandte Geowissenschaften (AGW), Karlsruhe Institut für Technologie (KIT)

Kontakt: ingrid.stober@kit.edu

The geochemical composition of nepheline-syenite, carbonatite, ultramafic rocks and gabbro samples from the Seiland Igneous Province is presented in terms of whole-rock chemistry, major and selected trace elements, and mineralogy. Additionally, the hydrochemistry of around 100 surface water, groundwater, rainfall and seawater samples from the area is presented. Surface water and groundwater solute chemistry can be explained in terms of reaction of precipitation with bedrock minerals: the waters thus acquire a clear chemical signature dependent on the catchment's lithology. The mineralisation of the waters (total dissolved solids or TDS) is generally low, although it is

somewhat elevated in carbonatite- or nepheline-syenite-dominated terrains, in comparison with ultramafic, gabbro or granitic terrains. Additionally, each lithology exhibits its specific water type. Thus, waters in a nepheline-syenite-dominated terrain tend to be Ca–Na–HCO₃ rich with relatively high pH, whereas waters in carbonatite terrains are Ca–HCO₃ dominated with only slightly elevated pH. Waters in ultramafic rocks exhibit strongly elevated Mg concentrations with circumneutral pH, whereas waters from gabbros are variable in terms of their major cation (Mg, Ca, Na) composition. Mineral stability diagrams aid our understanding of the evolution of rainwater by chemical interaction with rocks in each lithology. In gabbro and ultramafic terrains, such diagrams suggest that kaolinite is likely to be the primary alteration product and that saturation with respect to calcite will not be reached; instead, the waters will evolve until saturation with respect to stilbite (a Na–Ca zeolite mineral) is attained. Waters in ultramafic rocks will then follow this stable phase boundary until saturation with respect to chlorite is achieved. The gabbro waters, on the other hand, could also follow the stable phase-boundary to stilbite until saturation with respect to paragonite (a sodium mica) is reached, depending on the plagioclase-to-clinopyroxene ratio (Plg/Cpx). Surprisingly, it is found that olivine (i.e., forsterite) does not control the water chemistry in gabbros and ultramafic rocks.

P 9.21

Grundwassersanierung im Abstrom einer ehemaligen Steinkohlezeche (Lothringen V) mit Imprägnierungs-Anlagen in Bochum Gerthe

Stefan Vomberg¹, Michael Meid¹, Thorsten Trapp², Petra Hertel³

¹ CDM Smith Consult GmbH

² WEG Bochum mbH

³ Stadt Bochum, UBB

Kontakt: stefan.vomberg@cdmsmith.com

Auf der Fläche der ehemaligen Zeche Lothringen V in Bochum Gerthe wurden Hölzer u.a. zur Verwendung im Bergbau und im Stromleitungsbau imprägniert. Dabei wurden Chromsalze und kokereistämmige Teeröle verwendet. Durch den Betrieb kam es zu erheblichen Boden- und Grundwasserbelastungen. Hier ist das Grundwasser (1. Grundwasserstockwerk, Castroper Höhenschotter) erheblich mit Chrom VI, PAK (EPA) belastet. Vor allem die Chrom VI Belastungen werden aus dem Bereich des Altstandortes in Grundwasserfließrichtung zum nächsten Vorfluter (Ostbachsystem), der sich ca. 1,2 km vom Schadstoffzentrum entfernt befindet, transportiert. Die Breite der Chrom VI Fahne beträgt dabei ca. 600 m. Das belastete Grundwasser tritt in Schichtquellen und Vernässungszonen aus. Hierbei werden Chrom VI Gehalte von ca. 1.000 µg/l dem Oberflächenwasser zugeführt.

U.a. zur Unterbindung einer weiteren Schadstoffelution in das Grundwasser im Bereich des Schadenszentrums wurde die Fläche Lothringen V (neu: Gewerbepark Gerthe Süd mit einer Flächengröße von ca. 14 ha) mit einer Tondichtungsbahn aus Bentonit gesichert.

Aufgrund des großvolumigen Schadensbereiches kommen aus wirtschaftlichen Gründen für die Sanierung des Chromatschadens im direkten Abstrombereich bevorzugt Verfahren in Frage, die sehr geringe volumenbezogene Behandlungskosten aufweisen und einen überschaubaren Stoffeinsatz haben. Diese Forderung trifft insbesondere auf biologische und chemische in situ-Reduktionsverfahren zu. Die Laborversuche zum in situ Reduktionsverfahren (Slurry-Reaktoren und Säulenversuche) haben ergeben, dass Melasse- und Eisen-II-Sulfat Zugaben das Redoxpotential im Grundwasser derart beeinflussen, dass das metastabile Chrom VI in das weniger toxische und weniger gut wasserlösliche dreiwertige Chrom überführt wird und ausfällt.

Im Zuge der Feldversuche ab 2015 zur in situ-Sanierung wurden beide Reduktionsmittel, in verschiedenen Kombinationen, in bis heute insgesamt 21 Zirkulationssystemen erprobt. Nach ca. 2 Jahren Durchführungszeitraum des Feldversuches zeigt insbesondere die biologische Reduktion mittels Zusatz des Wirkstoffs Melasse eine vielversprechende Wirkungsweise und Nachhaltigkeit. Die Ergebnisse zur Chromatreduktion erreichen in mehreren Beobachtungsmessstellen Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze.

Um die Eingriffe in dem als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesenen Ostbachsystem (Austrittsbereich) so gering wie möglich zu halten, wurden in 2013 eine belastete Quellschüttung bautechnisch gefasst und die Wässer einer Grund-

wasserreinigungsanlage zugeführt. Die Methode zur Grundwassersanierung wurde im Vorfeld im Rahmen von Labor- und Feldversuchen umfangreich getestet. Am effektivsten und wirtschaftlichsten erwies sich die Grundwassersanierung durch die Reduzierung von Chrom VI zu Chrom III mit Hilfe von Natriumdithionit und die anschließende Abreinigung der Wässer über ein Absorptionsmittel. Das gereinigte Wasser wird wieder in den Ostbach eingeleitet.

P 9.22

Water and material exchange at the seawater - freshwater interface, southern Baltic Sea

Julia Westphal¹, Iris Schmiedinger¹, Jan Scholten², Willard. S. Moore³, Feng Hsu², Michael. E. Böttcher⁴

¹ *Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde*

² *Kiel University*

³ *University of South Carolina*

⁴ *Leibniz Institute for Balt*

Kontakt: julia.westphal@io-warnemuende.de

Submarine groundwater discharge (SGD) is an important pathway of dissolved element transport from the terrestrial to the marine environment. Little is known about the controls of this transport from landside to the Baltic Sea and vice versa, and the associated biogeochemical reactions at the seawater/ freshwater interfacial zone.

In the present study we investigate water exchange and associated biogeochemical processes at the coastal fen of the nature reserve Heiligensee & Hütelmoor, southern Baltic Sea, which is the study area of the DFG research training group BALTIC TRANSCOAST. The compartments under consideration include the coastal water column and vertical pore water and solid phase profiles in sediments and soils along the coast as well as in the fen peatland.

Pore waters were retrieved via push-pull pore water lances and permanent pore water samplers in the shallow water area. ^{224/223}Ra isotope investigations in the water column and in the pore water are used for a general detection of benthic-pelagic water exchange. A focus of the investigations was set on the development of concentration gradients of redox-sensitive elements, nutrients and the stable isotope (O, H, C) composition. Physical parameters, major and trace elements have been included.

The study area displays a spatial and temporal heterogeneity in pore water compositions due to a complex lithology with permeable sands and impermeable peat layers. The preliminary results of the hydro geochemical and isotope investigations show SGD contributions along the coastline of the study area. ^{224/223}Ra measurements indicate that SGD along the coast is highly episodic.

The pore water's carbon isotope composition of dissolved inorganic carbon indicates intense anaerobic oxidation of dissolved organic carbon and/or methane which may be influenced by the presence of below-ground peat layers. Dissolved sulfide accumulates already in shallow sediments (below 30 cmbsf) due to high rates of sulphate reduction and/or pore water fluxes.

To further quantify local pore water dynamics ('benthic-pelagic coupling') it is further planned to apply benthic chambers to allow for a flux determination of water and elements and analyses of the dominant biogeochemical processes.

Acknowledgement: The research is supported by DFG within the Research graduate project BALTIC TRANSCOST and Leibniz IOW.

Verschiebungen des $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisses von Grundwasser durch CO_2 im Untergrund

Sebastian Lohr¹, Johannes Barth¹

¹ Lehrstuhl für angewandte Geologie, GeoZentrum Nordbayern

Kontakt: sebastian.lohr@fau.de

Verschiebungen des $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ Isotopenverhältnisses von Wasser (ausgedrückt als $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Signal mit ‰-Verschiebungen gegen den internationalen Standard „Standard Mean Ocean Water SMOW“) können beispielsweise durch Verdunstung an der Erdoberfläche auftreten. Im Grundwasser sind solche Verschiebungen selten und ein möglicher Mechanismus ist, wenn große Mengen von CO_2 über längere Zeiträume mit Grundwasser in Verbindung stehen. Wegen des hohen Sauerstoffanteils in beiden Phasen ist dann eine Equilibrierung zwischen CO_2 und H_2O zu erwarten, wobei das Isotopenverhältnis von CO_2 sich auf den Sauerstoff im Wasser übertragen kann. Wenn die sich dabei ergebenden Memory Effekte im $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ des Wassers erhalten bleiben, kann der Kontakt zu CO_2 noch nachgewiesen werden, selbst wenn das Gas schon wieder weiter migriert ist. Dies ist dann wichtig, wenn Grundwasser in der Nähe von vulkanischen Systemen, bei CO_2 Speicherung oder bei Eindringen von CO_2 in Salzlagerstätten verändert wird. Damit kann das Wasser als Tracer für Aufenthaltszeiten und Ausbreitungsgeschwindigkeiten von CO_2 -Fahnen im Untergrund dienen. Erste Laborexperimente mit Wasser und CO_2 in geschlossenen Systemen ergaben deutlich messbare Isotopenverschiebungen von bis zu 6 ‰, wenn 22,8 Prozent des im System vorhandenen Sauerstoffs vom CO_2 stammte. Bei kleineren Mengen von Sauerstoffzugaben durch CO_2 von 1,3 Prozent konnten immer noch $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Verschiebungen von 0,3 ‰ nachgewiesen werden. Die Übertragungszeit in diesen Experimenten betrug für alle Experimente ungefähr 50 Stunden, wobei diese mit niedrig mineralisierten Lösungen durchgeführt wurden. In gegenwärtigen Experimenten werden Lösungen verschiedener Salzgehalte bis hin zur Salzsättigung aus realen Umgebungen von Salzlagerstätten getestet. Weiterhin werden isotopische Equilibrierungen unter statischen Bedingungen ohne Schütteln durchgeführt um realistische Equilibrierungszeiten zu untersuchen. Diese Wasserisotopenmethode ist vielversprechend, um Wechselwirkungen von CO_2 und Grundwasser im Untergrund zu verstehen und bewerten zu können.

10 Wasser und Umwelt in Südostasien

Vorträge

O 10.1: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 09:00-09:15

Einführung in die Session „Wasser und Umwelt in Südostasien“

Harro Stolpe¹, Katrin Brömme¹

¹ U+Ö Umwelttechnik+Ökologie im Bauwesen, RUB Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: harro.stolpe@rub.de

In den schnell wachsenden Ökonomien Südasiens nimmt die Bedeutung von Umweltthemen deutlich zu – einerseits aufgrund problemhafter Ereignisse, andererseits durch zunehmende Versuche, die wachsenden Umwelt-Probleme zu bewältigen.

Die Aufgabestellung „Wasser und Umwelt“ hat dabei eine besondere Bedeutung mit Themen wie:

- Integriertes Wasserressourcenmanagement und Abwasserreinigung bei wachsender Industrialisierung
- Sicherstellung der Wasserversorgung von Landwirtschaft und Aquakulturen
- Grundwassergewinnung und Grundwasserschutz in urbanen Räumen und Megastädten sowie in wasserarmen Gebieten

Dabei geht es um die integrierte Sicht von Landnutzung, Oberflächenwasser und Grundwasser insbesondere auch unter der zunehmenden Auswirkung des Klimawandels. Grundwasser als eine empfindliche, schützenswerte aber regional oft auch begrenzte Ressource spielt dabei eine wichtige Rolle.

Zu Beginn der Session wird ein Überblick über laufende und erwartete FuE-Projekte im Bereich Wasser und Umwelt insbesondere in Vietnam gegeben und Perspektiven für die Forschungskooperation aufgezeigt.

O 10.2: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 09:15-09:30

Integriertes Wasserressourcenmanagement in Vietnam

Björn Zindler¹, Christian Jolk²

¹ U+Ö im Bauwesen, Ruhr Universität Bochum

² Zentrum für integriertes Umweltressourcenmanagement, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: bjoern.zindler@rub.de

Eine wesentliche Herausforderung bei der Durchführung von FuE-Projekten im Wassersektor ist die Etablierung nachhaltig wirkender Maßnahmen beim Integrierten Wasserressourcenmanagement (IWRM). IWRM und sein Sektor übergreifendes Konzept ist eine große Herausforderung für Regierungen und Institutionen, da es in der Regel nur in einem langen Prozess der Umsetzung zahlreicher Elemente realisiert werden kann. Diese reichen von der Umstrukturierung rechtlicher und institutioneller Rahmenbedingungen über Investitionen in die Infrastruktur, die Beteiligung von Entscheidungsträgern an Entscheidungsprozessen bis hin zum Capacity Development und dem Aufbau effizienter Überwachungs- und Informationssysteme.

Die Asian Development Bank (ADB) hat im Jahr 2006 25 Kriterien herausgearbeitet, die entscheidend bei der Durchführung eines IWRM in Ländern der Asien-Pazifik Region sind. Die Verbesserung der Wasserbewirtschaftung in Südostasien nach IWRM-Grundsätzen ist von entscheidender Bedeutung. Die Vielzahl der zu berücksichtigenden Kriterien zeigt, dass eine maßgeschneiderte Herangehensweise des IWRM auf Flusseinzugsgebietsebene nur bedingt möglich ist.

Zwei Fallbeispiele aus BMBF-geförderten FuE-Projekten zeigen Methoden für das IWRM auf Flusseinzugsgebiets-ebene (IWRM Vietnam, 3 Flusseinzugsgebiete in Nord-, Mittel- und Südvietnam) und lokaler Ebene (KaWaTech, Kommune Dong Van in Nordvietnam). Mit sogenannten „Planning and Decision Support Tools“ können die Wassernutzung und das Kontaminationsrisiko für die Wasserressourcen ermittelt, analysiert und im Sinne eines Problemrankings priorisiert werden. Stakeholdern wird ein Werkzeug zur strukturierten Analyse der wasserbezogenen Herausforderungen zur Verfügung gestellt.

Der Beitrag bietet auf Basis diverser durch U+Ö im Bauwesen durchgeführter FuE-Projekte einen Überblick über die unterschiedlichen Zielrichtungen und methodischen Vorgehensweisen beim IWRM, besonders in Vietnam.

O 10.3: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 09:30-09:45

Inverse analysis for transmissivity and the Red river bed's leakage factor for Pleistocene aquifer in Sen Chieu-Phuc Tho-Hanoi by group-well pumping test under the river water level fluctuation

Duc Huy Trieu¹

¹ National Center for Water Resources Planning and Investigation – NAWAPI
Kontakt: trieuduchuy@gmail.com

Aquifer parameters and river bed hydraulic resistance to aquifer have an important role in qualitative assessment of groundwater sources, especially the aquifer recharge from rivers. The analytical determination of aquifer parameters and river bed hydraulic resistance to aquifer is rather complicated in case the water level in the river fluctuates before and during the pumping test time. This is especially true for Pleistocene aquifer along the Red river in Hanoi city, where the river bed has been changed very much during the recent decades. A trial-error inverse analysis in the parameters' determination by group pumping test data obtained in a test located close to the Red river bank in Sen Chieu area, Phuc Tho district, Hanoi city had been carried out. Before and during the pumping test time the water level in the river changed five times. The results have shown that the Pleistocene aquifer has a relatively high hydraulic conductivity of 55.5 m/day, which provides a good role in the transport of a large volume of water recharged by the river to the abstraction wells located near the river. The aquifer storage coefficient had lightly decreased with the pumping time, which is corresponding to the physical nature of that the aquifer storativity is a function of the aquifer pressure. A special point is worthwhile to note that the Red river bed resistance to the Pleistocene is very low, about 0.537 days, which is corresponding to the increase of the distance from the river bank further from the well in 28.4 m to have the river as a specified water level boundary of the aquifer. In contrast, the 1990's investigations had found the Red river bed resistance to the Pleistocene aquifer of about 130 days (Tran Minh, 1984), which is corresponding to the increase of the distance from the river bank further from the well in 28.4 m to have the river as a specified water level boundary of the aquifer of a thousand meters.

O 10.4: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 09:45-10:00

Water resources in the hard coal mining areas of Quang Ninh, Vietnam – Overview of the current status and planning approaches for post-mining and mine water reuse

Katrin Brömme¹, Mien Tran², Sandra Greassidis¹, Trinh Quoc Viet¹

¹ Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum

² VINACOMIN Informatics, Technology, Environment JSC

Kontakt: katrin.broemme@rub.de

The province Quang Ninh in the Northeast of Vietnam is a traditional hard coal mining area since the 19th century. The mining activities have a strong impact on the water resources of the area. As the province is developing more and more into a tourism hotspot with its unique limestone rock landscape of Ha Long Bay, the protection of water resources is one of the core issues of environmental management in the mining areas.

Mine water drainage in Quang Ninh is done by pumping water from the open pit bottom or from underground adits. In this way, both groundwater resources and surface water bodies are affected in their quantity and quality.

Regarding the treatment of mine waters huge progress was made in the last 10 years as knowledge and technologies as well as funding conditions improved. Since 2009 a lot of mine water treatment plants started operation and the status of the water resources improved.

New problems arise due to an ongoing transformation from open pit to underground mining and the closure of open pit mines. The deeper the mines the more water needs to be drained, treated and discharged while the urban areas close by lack water during the dry season.

A first approach to mitigate conflicts regarding land and water resources is an integrated planning approach for post-mining land use. It was developed considering legislation, existing plans of the mines, Ha Long City and Quang Ninh province as well as the relevant stakeholders in the region.

The second approach investigates the potential for reuse of treated mine water. Coal mining consumes a huge amount of low quality water for coal processing, dust control, other industrial purposes, etc. but also high quality water for domestic uses. During the rainy season a part of the mine water still is discharged untreated. A concept for mine water reuse in the mines and in the adjacent urban areas by using a material flow analysis and adapted technologies for water storage and treatment is developed.

O 10.5: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 10:00-10:15

Impacts of economic development on groundwater resource in Vu Gia – Thu Bon coastal area

Dinh Quang Duong¹

¹ *Ü+Ö im Bauwesen, Prof. Stolpe, Ruhr Universität Bochum*
 Kontakt: dinh.duong@ruhr-uni-bochum.de

Vu Gia – Thu Bon is one of the nine biggest river basins in Vietnam and its lowland is the hometown of more than one million inhabitants with a rapid economic development. With more than 2.000 mm rainfall per year and a wide-spread river system, it seems that surface water is enough to supply the area. However, due to a pronounced dry season and an insufficient domestic water supply system makes groundwater still a major source of drinking water for more than seventy percent of the households and it is also exploited by many resorts, hotels and small to medium industrial factories. Conversely, rivers are impacted by seawater meaning that pumping stations operate not all the time and only at a proper capacity. This situation means that the groundwater needs to be well protected and managed for a long term use. Meanwhile, the groundwater source is being degraded due to intensive exploitation and groundwater recharge seems to reduce notably as a result of concreting the land.

This paper aims to evaluate potential impacts of economic development on groundwater resource for the coastal area from Da Nang to Hoi A city – the lowland of Vu Gia – Thu Bon basin. The impacts will be considered in two sides: (i) reducing the groundwater recharge and (ii) increasing groundwater pumps and pumping rates. A numerical model will be set up based on hydrogeological, land use, groundwater use data using MODFLOW computer code - a well-known, standard computer code for groundwater modelling over the world. Main results will be groundwater table maps for the current situation and development scenarios.

Detailerkundung zur Verbesserung des hydrogeologischen konzeptionellen Modells im südlichen Mekong Delta

Armin Pechstein¹, Florian Jenn¹, Thi Hanh Hoang², Hoai Nam Le², Roland Bäumle¹

¹ FB Grundwasserressourcen – Beschaffenheit und Dynamik, BGR

² Improvement of groundwater protection in Vietnam (IGPVN)

Kontakt: armin.pechstein@bgr.de

Die Grundwasserressourcen des Mekong Deltas geraten immer stärker unter Druck. Sowohl die Intensivierung der landwirtschaftlichen und industriellen Nutzung des Deltas, als auch vermehrt auftretende Dürreperioden und das verringerte Dargebot von Oberflächenwasser des Mekong, tragen zur verstärkten Nutzung des Grundwassers als Frischwasserressource bei. Seit den 1990er Jahren hat die Grundwasserförderung im Delta deshalb stark zugenommen. Dem gegenüber stehen eine begrenzte Grundwasserneubildung, die Gefahr von Salzwasserintrusion, sowie das Problem von Landsetzung als Folge fallender Grundwasserstände. Für die zukünftige Nutzung der Ressource Grundwasser und die Anpassung der Region an den Klimawandel sind qualifizierte Untersuchungen zur Grundwasserverfügbarkeit entsprechend dringend.

Das Grundwassersystem des Mekong-Beckens besteht aus 7 Grundwasserstockwerken mit eingeschalteten Aquitarden. Wiederholte Transgressionen und Regressionen führten seit dem Miozän zur Ausbildung einer sedimentären Beckenfüllung mit Mächtigkeiten zwischen 180 und >500m. Die an der Oberfläche anstehenden 12 bis 40 m mächtigen holozänen Tone limitieren die direkte Grundwasserneubildung, speziell für die tieferen Aquifere. Basierend auf ¹⁴C-Datierungen wird das Alter der teils salinen Grundwässer auf 10.000 bis > 40.000 Jahre geschätzt. Aufzeichnungen der letzten Jahre zeigen fallende Grundwasserstände zwischen 23 und 54 cm/a (Jenn et al., 2017).

In Anbetracht der komplexen hydrogeologischen Situation und der starken Bewirtschaftung steht die zukünftige Nutzung der Ressource Grundwasser vor erheblichen Herausforderungen. Dem gegenüber ist die hydrogeologische Datengrundlage jedoch begrenzt. Es existiert eine relativ grobe hydrogeologische Vorstellung der hydrogeologischen Prozesse, welche zumeist qualitative beschrieben sind, quantitative jedoch oft nicht erfasst werden. Dies betrifft sowohl die Verbreitung von salinen Grundwässern, die Grundwasseraltersverteilungen, als auch die Bestimmung von Aquifer-Parametern, die Quantifizierung von Leakage und die Erstellung verlässlicher Grundwassergleichenpläne.

Zur Beurteilung der Grundwasserressourcen wurde die Provinz Ca Mau im Süden des Mekong Deltas exemplarisch ausgewählt, um existierende Datenbestände zu beurteilen und neue hydrogeologische Untersuchungen zur Verbesserung der hydrogeologischen Konzeptvorstellung durchzuführen. Die entsprechenden Geländearbeiten konzentrieren sich auf Tracer- und Pumpversuche, die Erfassung und Beurteilung der Hydrochemie und die Grundwasserdatierung. Somit erfolgt eine Beurteilung und Quantifizierung hydrogeologischer Prozesse und Parameter vorerst auf lokaler Ebene. Ziel ist es, die bestehende hydrogeologische Modellvorstellung zu verbessern und anschließend auf die regionale Skala zu übertragen.

Literatur

Jenn, F., Hoang, T.H., Le, H.N., Pechstein, A. & Nguyen, T.A.T. (2017): Baseline Study Cà Mau - Review of studies on groundwater resources in Cà Mau Province. IGPVN Technical Report III-2, Hanoi

O 10.7: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 11:00-11:15

Formation of Groundwater Resources in the Nam Bo Plain, Vietnam

Van Canh Doan¹, Duc Huy Trieu²

¹ Vietnam Association of Hydrogeology

² National Center for Water Resources Planning and Investigation – NAWAPI

Kontakt: doanvancanh@gmail.com

The origin, age and salinization of groundwater in the Nam Bo Plain, Vietnam were investigated using isotopic and geochemical techniques. Groundwater was sampled along three transects. Transect AA crosses the North through South starting from HCM City to Nam Can in Ca Mau province. Transect BB crosses through the southeast Nam Bo. Transect CC crosses through the southwest Nam Bo, between the Tien and Hau Rivers. Water samples were taken from 5 aquifers: middle Pleistocene (qp₂₋₃), lower Pleistocene (qp₁), upper Pliocene (n₂²), lower Pliocene (n₂¹), and Miocene (n₁³) which are important in respect to the supply with fresh water for drinking and domestic use of the local population. The origin of groundwater in the study region was investigated based on the composition of water stable isotopes (d²H and d¹⁸O). The age of water samples was estimated by the tritium (³H) and radiocarbon (¹⁴C) dating method with the use of the stable carbon composition (d¹³C) in total dissolved inorganic carbon. The salinization process occurring in the aquifers was studied by using the chloride concentration in water in conjunction with the d¹⁸O in respective samples. Results of the d²H and d¹⁸O analysis suggested that groundwater in the Nam Bo region was originated from the local precipitation, but has paleo-ages. The d²H and d¹⁸O in water were spread relatively close to the regional meteoric water line and the age of water ranged from older than 100 a BP up to older than 40,000 a BP. Statistical treatment using the Mann-Whitney method without preliminary hypothesis, based on the mean value of d¹⁸O and its standard deviation in water from the Tien and Hau River and that in the qp₂₋₃ showed that the groundwater was not or very weakly recharged from the Rivers as the mean d¹⁸O value of the two water groups was significantly different from each other as Z-value of the test was 2.81 higher than z-critical of 1.96 at $\alpha = 0.01$. This means that the deeper aquifers did not or very weakly receive recharge from the surface, but water there likely was connate, so that fresh groundwater resources in the region seem to be limited. It was observed that groundwater in the same aquifer, but in one location was older, meantime in other sites it was younger than the age that could be expected from the common trend that the deeper the well the older water is. This fact was explained either by the inter-aquifer leakage or up-coning effect resulting from the over abstraction from certain aquifers. Several samples were contaminated with chloride ion but the salinization in most aquifers was thought to result from the migration of saline water entrapped in sediment pore to recharged fresh water. Meanwhile, in several locations mixing between fresh water with seawater was observed as evident from the d¹⁸O vs. [Cl⁻] relationship. Particular measures must be developed for better management of groundwater in the Nam Bo Plain to have sustainable resource of freshwater for the region.

O 10.8: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 11:15-11:30

Hochwassersichere Brunnenabschlussbauwerke in Indien

Cornelius Sandhu¹, Fabian Musche¹, Thomas Grischek¹, Prakash Kimothi²

¹ Fakultät Bauingenieurwesen / Architektur, Lehrgebiet Wasserwesen, Hochschule f. Technik u. Wirtschaft Dresden

² Uttarakhand Emergency Assistance Project, Cooperation Centre for Riverbank Filtration (CCRBF), Dehradun, Indien

Kontakt: cornelius.sandhu@htw-dresden.de

Die Uferfiltration (UF) hat ein großes Potential in Indien und wird zunehmend als Alternative zur konventionellen Oberflächenwasseraufbereitung genutzt. Der direkte Eintrag von Oberflächenwasser in Brunnen während Monsun-Hochwasserereignissen und die daraus resultierende Kontamination und Zerstörung der Brunnenbauwerke sind jedoch ein Risiko für die Trinkwasserversorgung in Indien und anderen Ländern Asiens.

Im Rahmen des deutsch-indischen BMBF-Client-Verbundvorhabens NIRWINDU (2015-2018) wurde ein Konzept für eine hochwassersichere und ganzjährige Trinkwassergewinnung durch UF in Indien erarbeitet. In Srinagar wurde ein hochwassersicheres Brunnenabschlussbauwerk realisiert, bestehend aus einem in Indien hergestellten wasserdich-

ten Brunnenkopf und einem überflutungssicheren Brunnenschacht (Abb. 1). Parallel dazu wurde eine Methodik zur Untersuchung der Dichtheit von Schachtabdeckungen entwickelt und an Vertikalfilterbrunnen am UF-Standort Torgau-Ost in Deutschland und anschließend in Uttarakhand am UF-Standort Srinagar getestet. Bei Untersuchungen in Deutschland wurde die Dichtheit neuer, überflutungssicherer Schachtabdeckungen bis zu einem Druck von 1,4 mWS nachgewiesen. Eine dauerhafte Dichtheit erfordert eine regelmäßige Überprüfung und Reinigung der Gummidichtungen und Kontaktflächen. Die Untersuchungsergebnisse und Erfahrungsberichte ergaben neben den Schachtabdeckungen weitere Schwachstellen bei Brunnenabschlussbauwerken. Feldversuche in Indien zeigten, dass mithilfe eines überflutungssicheren Brunnenkopfes und zusätzlicher horizontaler Abdichtung des Brunnennahraums ein direkter Eintrag von Oberflächenwasser verhindert und der Brunnen im Hochwasserfall weiter betrieben werden kann.

Während in vielen europäischen Ländern Maßnahmen zur Hochwassersicherung von Brunnen durch die Wasserversorger durchgeführt werden, sind die meisten Unternehmen in Nordindien unerfahren im Bau von hochwassersicheren Brunnenabschlussbauwerken. Eine Marktrecherche in Indien zeigte, dass die praktische Implementierung solcher Maßnahmen aufgrund von technischen, institutionellen und industriellen Aspekten eine Herausforderung darstellt. Zwar besteht seitens Wasserversorger in einigen indischen Bundesländern Interesse am Bau hochwassersicherer Brunnenabschlussbauwerke, der Bau ist allerdings nur durch eine entsprechende Ausbildung von Ingenieuren, Brunnenbauern und potentiellen Herstellern von wasserdichten Brunnenköpfen in Indien realisierbar.

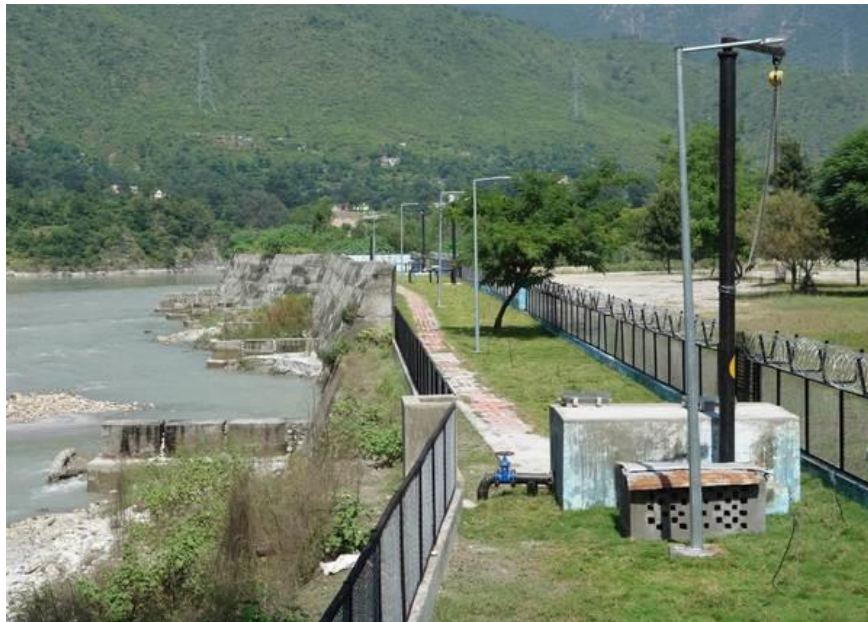


Abb. 1: Überflutungssicherer Brunnenschacht am Uferfiltrationsstandort in Srinagar (Uttarakhand, Indien, September 2017)

O 10.9: Vortragsreihe 2, 24.03.2018, 11:30-11:45

Water 4.0 – Water Monitoring, Information and Planning System in Vietnam

David Balmert¹, Erich Berger¹, Juan Ramirez Duval¹

¹ *ribeka GmbH*

Kontakt: david.balmert@ribeka.com

The increasing demand for water resources in Vietnam intensified by competing uses such as mining, industry, agriculture and the domestic sector require urgent and sustainable solutions. A direct consequence is groundwater over-exploitation with subsequent land subsidence. Additionally, sea level rise due to climate change is progressively deteriorating water quality due to saline water intrusions. One of the planned measures is the introduction of innovative and integrated methods and software solutions for Water Monitoring, Information and Planning in the framework of Water 4.0. The system will feature a real-time monitoring system for relevant parameters such as water levels and

water quality with corresponding evaluations and automatic reporting functionalities. In addition, it will feature a web frontend for stakeholder access as well as the connection to participative monitoring via smartphone apps. This contribution is based on ribekas engagement in current research projects in Vietnam focusing on the development and implementation of water monitoring and management systems.

References

- Firoz, A.B.M; Berger, E., Etzkorn, C., Balmert, D., Ribbe, L. & Nauditt, A. (2013): Web Based Risk Information And Early Warning System For Disaster Risk Management. In: 4th International Conference on Water & Flood Management (ICWFM-2013), IWFM, BUET, Dhaka, Bangladesh.
- Berger, E., Balmert, D. & Richter, J. (2014): Efficient Groundwater Monitoring for Underground and Open-cast Mining." In Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation, 317-320. S.I.: Crc Press.
- Berger, E., Balmert, D. & Richter, J. (2015): Development and implementation of a monitoring and information system to increase water use efficiency in arid and semi-arid areas in Limarí, Central Chile (WEIN): Applied water monitoring, ordering and accounting software through a practical example. In: International Conference "Water Resources Assessment & Seasonal Prediction" Oktober 2015, Koblenz
- Berger, E. & Balmert, D. (2016): Webbasierte Überwachung in Echtzeit – Wasserhaltung im Tunnelbauprojekt der DB Stuttgart-Ulm. In: German Water Partnership: Wasser 4.0, German Water Partnership e.V., Berlin.

Poster

P 10.1

Mine wastewater chemical composition in Khe Cham coal mine in Vietnam: features and some impacts

Quang Tuan Tran¹, Van Lam Nguyen²

¹ Ruhr University Bochum, Bochum

² Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam Vietnam Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam Hanoi University of Mining and Geology

Kontakt: trantuan033@gmail.com

Mine wastewater has been a major concern in mining in recent years. The aim of this research was to study the chemical composition of this mine wastewater and some their impacts on coal mining. These included collecting, observing, sampling, and analyzing water at several sites. Two evaluation methods were used: The chemical composition variation assessment of the mine wastewater in 2 years (2008, 2009): (1) over time (based on the monitoring data for the quarterly indicators); (2) by mining depth (selected the monitoring data at this coal mine wastewater monitoring stations in different depths of the pit). The important components of the mine wastewater were indentified and had some signs of the pollution such as low pH value (2.6 and 3.7 in August 2008, and in June 2009 respectively); some heavy metals as Fe, Mn with high concentrations (the maximum value of Fe, Mn, TSS: 96 mg/l; 5 mg/l; and 932 mg/l in 2008 respectively; the maximum value of Sulphate (SO_4^{2-}): 1711 mg/l in 2009). The two impacts of the mine wastewater: erosion (determined the corrosive components were due to pH, TSS, SO_4^{2-} ,...) and impacts on the surrounding environment were studied. These results suggest that the concentration of Fe, Mn, SO_4^{2-} , TSS generally exceeded the Vietnamese Standard (QCVN 24:2009/BTNMT), and corroded the mine equipment. Until now, the quality of mine wastewater is not effectively improved before it is discharged into surface water sources. It is necessary to thoroughly treat them to minimize their impacts.

Genesis of an economic relevant fresh groundwater lens in Pleistocene/ Neogene aquifers in Nam Dinh province (Red River Delta, Vietnam).

Frank Wagner¹, Rüdiger Ludwig¹, Hoan Hoang², Ursula Noell¹, Quy Nhan Pham³, Flemming Larsen⁴

¹ BGR

² HUMG

³ NCWRPI

⁴ GEUS

Kontakt: frank.wagner@bgr.de

In Southern Red River Delta (Nam Dinh Province, Vietnam), a local lens of low saline pore water and high quality has been identified in unconsolidated Pleistocene (P) and Neogene (N) aquifers, which are regionally known to contain brackish and saline pore waters. Since the 1990ies, ongoing overexploitation of the fresh groundwater results in decreasing GW heads up to 0.6 m/a and in development of a regional abstraction cone. The presented study from 2012 has been carried out in frame of a Vietnamese-German technical cooperation project and focus on distribution and genesis of fresh and saline pore waters in frame of the regional hydrogeological context.

Observations of the geological structure and groundwater dynamics combined with hydrochemical and isotopic studies suggest adjacent Triassic hard rock aquifers as the major source for the local occurrence of fresh P and N groundwater. Salinization status in the economically most relevant P aquifer has been studied based on hydrochemical and geophysical data. Own hydrochemical field studies as well as laboratory measurements of the specific resistivity of dry sediment samples results in the translation of induction logging data from existing monitoring wells into vertical pore water salinity profiles. This approach suggests the regional occurrence of saline pore water in shallow Holocene sediments in the working area, as observed by pore water studies in Hoang et al. (2010).

Interpretation of induction logging and stable isotope data suggest vertical diffusion of saline pore water in shallow Holocene sediments as a source for high saline pore water in deeper aquifers. Analytical diffusion modeling for a period of 3000 years confirms that vertical diffusion of Holocene paleo-sea water can explain saline pore water in P and N aquifers in a stagnant environment. Constant influx of fresh groundwater from adjacent Triassic hard rocks results in flushing saline water which infiltrates from marine Holocene sediments.

¹⁴C groundwater age dating suggests increasing groundwater ages from fresh to saline pore water in P and N up to 14 ka, presuming that contamination with dead carbon is neglectable. Highest ¹⁴C ages of low saline water has been observed in the center of the exploited fresh water lens reaching up to 10 ka. Due to overexploitation, the natural coastward directed groundwater flow has turned towards the centre of the abstraction cone with horizontal apparent velocities of up to 0.6 m/a. Thus, brackish and higher saline groundwater from the Red River area and offshore migrates towards the fresh water lens.

Thus, more sustainable exploitation strategies are urgently needed in order to reduce overexploitation of limited and valuable fresh groundwater resources in Nam Dinh Province. However, implementation of mitigation measurements by local authorities is restricted to intensified groundwater monitoring activities.

References

Hoang, H., Pham, Q.N., Larsen, F., Tran, L.V., Wagner, F. & Christiansen, A.V. (2010): Processes Controlling High Saline Groundwater in the Nam Dinh Province, Vietnam. 2nd Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting (ACAMM), October 18-21, 2011, Jeju Island, Korea

11 Beiträge zur Hydrogeologie Südamerikas und Afrikas

Vorträge

O 11.1: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 09:45-10:00

Harmonisierte hydrogeologische Flächeninformationen für die Sahel-Zone: Ableitung der Aquiferproduktivität aus lithologischen Karten und Pumpversuchen

Stefan Broda¹, Michaela Rückl¹, Matthias Heckmann¹, Jörg Reichling¹

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Kontakt: stefan.broda@bgr.de

Bevölkerungswachstum und Klimawandel sind zunehmende Stressfaktoren für die Wasserressourcen in der Sahel-Zone, in der Grundwasser immer stärker für die Trinkwasserversorgung und Bewässerung genutzt wird. Managementkonzepte für dessen nachhaltigen Gebrauch fehlen jedoch oftmals oder entsprechen nicht den Erfordernissen.

In Projekten der technischen Zusammenarbeit unterstützt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) daher u.a. die zwischenstaatlichen Organisationen der Tschadseebecken- und Nigerbeckenkommission, welche die Mandate für ein überregionales Grundwassermanagement in den Regionen innehaben.

Für die Entwicklung der Managementstrategien sind verlässliche hydrogeologische Flächeninformationen unabdingbar. Daher wurde ein Prozess zur Harmonisierung von geologischen Karten und der Auswertung von Bohrlochinformationen entwickelt, um länderübergreifende, homogenisierte Flächeninformationen als Grundlage zur weiteren hydrogeologischen Auswertung, wie bspw. Aquiferproduktivität, für verschiedene Pilotregionen zu erstellen.

Die lithologischen Einheiten der Karten wurden basierend auf dem Aggregationsschema der lithologischen Legende der Internationalen Hydrogeologischen Karte von Europa (Duscher, et al., 2015) harmonisiert. Für die Erstellung einer Übersichtskarte der Aquiferproduktivität wurden verfügbare Messwerte von Parametern aus Pumpversuchen klassifiziert (Transmissivität, spezifische Ergiebigkeit, Ergiebigkeit) und entsprechenden Kategorien (Struckmeier, et al., 1995) zugewiesen. Aus der Kombination von diesen flächenhaft und punktuell vorliegenden Informationen konnte die Produktivität des obersten Aquifers abgeleitet werden. In Zusammenarbeit mit lokalen Hydrogeologen wurden die Ergebnisse validiert.

Der entwickelte Prozess ermöglicht die schrittweise Übertragung auf weitere Gebiete der beiden über 1,000,000 km² großen Einzugsgebiete.

Die erstellten hydrogeologischen Karten bilden dann die Basis für mögliche weitere Auswertungen, wie der Abschätzung der Vulnerabilität des Grundwassers gegenüber dem Klimawandel oder gegenüber Verschmutzung. Aber auch für die Identifizierung potentieller Gebiete für künstliche Grundwasseranreicherung (Managed Aquifer Recharge) stellen sie eine essentielle Grundlageninformation dar.

Literatur

Duscher, K., Günther, A. & Richts, A., Clos, P., Philipp, U. & Struckmeier, W. (2015): The GIS layers of the "International Hydrogeological Map of Europe 1:1,500,000" in a vector format, *Hydrogeology Journal* 23(8), DOI 10.1007/s10040-015-1296-4.

Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995): *Hydrogeological Maps - A Guide and a Standard Legend*. – International Association of Hydrogeologists (IAH), Int. Contrib. to Hydrogeol. 17: 177 p.; Heise, Hannover.

Erkundung tiefer Grundwasserfließsysteme in der Kalahari, Nord-Namibia

Roland Bäumle¹, Thomas Himmelsbach¹, Georg Houben¹

¹ BGR Fachbereich Grundwasserressourcen, BGR

Kontakt: roland.baumle@bgr.de

Semi-fossile Grundwasserleiter sind im Gegensatz zu fossilen Aquiferen noch an den hydrologischen Kreislauf angebunden und werden zu Teilen erneuert. In Afrika bilden diese Aquifere eine wichtige Quelle für die Trinkwasserversorgung und sind noch nicht vollständig erschlossen. Im nördlichen Teil des Kalahari-Beckens werden aktuell zwei in größeren Tiefen entdeckte poröse Grundwasserleiter hydrogeologisch erkundet: der Ohangwena II (KOH-2) Aquifer im Grenzgebiet zwischen Angola und Namibia und der Lower Kalahari Aquifer (LKA) in der Zambezi Region im Nordosten Namibias. Die hydrogeologische Ausprägung des KOH-2 wird bestimmt durch nachgewiesene sedimentäre Strukturen in Form eines Paläo-Deltas, die des LKA durch teilweise rezente tektonische Prozesse entlang einer Grabenbruchzone und einhergehenden Flussablenkungen durch rückschreitende Erosion. Es handelt sich um sehr alte Fließsysteme, die mit der Radiokarbonmethode zum Teil nicht mehr datiert werden können. Das mittlere Alter des Grundwassers im LKA beispielsweise wird mit Hilfe von ³⁶Cl-Datierungen auf deutlich über 100 ka geschätzt. Hydrochemische und –isotopische Untersuchungen ergaben Hinweise, dass im LKA ein ursprünglich salziger Grundwasserkörper seit dem Pleistozän in Fließrichtung langsam aussüßt und sich Grundwasser vom Na-HCO₃-Typ mit unterschiedlichen Anteilen an SO₄ und Cl ausbildet. Die Exploration solcher semi-fossiler Grundwassersysteme erfordert multidisziplinäre Ansätze, die neben den klassischen hydrogeologischen Untersuchungsmethoden die Erforschung geologisch-tektonischer und sedimentologischer Strukturen sowie der paläoklimatischen Bedingungen mit einbezieht.

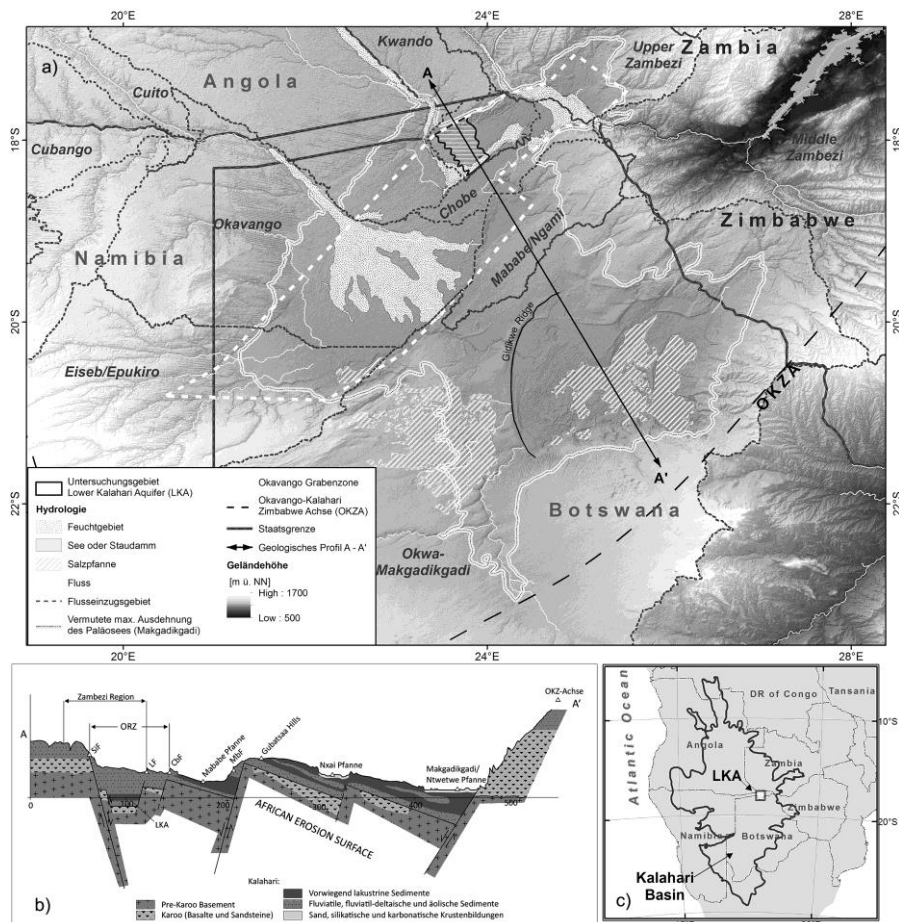


Abb. 1: Untersuchungsgebiet

Literatur

Bäumle, R. & Himmelsbach, T. (2017): Erkundung tiefer, bislang unbekannter semi-fossiler Grundwasserleiter im Kalahari-Becken (südliches Afrika). Grundwasser, Paper akzeptiert am 17.07.2017.

Moore, A.E., Cotterill, F.P.D. & Eckardt, F.D. (2013): The Evolution and Ages of Makgadikgadi Palaeo-Lakes: Consilient Evidence from Kalahari Drainage Evolution South-Central Africa. South African Journal of Geology, 115(3), 385-413, doi:10.2113/gssajg.115.3.385.

Wallner, M., Houben, G., Lohe, C., Quinger, M. & Himmelsbach, T. (2017): Inverse modeling and uncertainty analysis of potential groundwater recharge to the confined semi-fossil Ohangwena II Aquifer, Namibia. Hydrogeology Journal, doi:10.1007/s10040-017-1615-z.

O 11.3: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 10:15-10:30

Hydrogeologie des semiariden südwesten Madagaskars und ihre Bedeutung für ein nachhaltiges Landmanagement

Andreas Englert¹, Linda Dworak¹, Katja Brinkmann², Susanne Kobbe³, Andreas Bürkert²

¹ Ruhr-Universität Bochum

² Universität Kassel

³ Universität Hamburg

Kontakt: andreas.englert@rub.de

Der Erhalt des Ökosystems und seiner Biodiversität im Mahafaly Gebiet und die gleichzeitig nachhaltige Verbesserung der Lebensverhältnisse der Bevölkerung sind eng gekoppelt an genaue Kenntnisse der im Südwesten Madagaskars vorhandenen und in Zukunft zur Verfügung stehenden Wasserreserven. Da im Untersuchungsgebiet Oberflächengewässer fast ausschließlich in der Regenzeit vorkommen, spielt die genaue Kenntnis der Grundwasserreserven und ihrer Dynamik eine entscheidende Rolle für das Überleben der Bevölkerung. Um das Grundwasservorkommen im Untersuchungsgebiet abschätzen und damit Basisinformationen für die Entwicklung von Maßnahmen und Handlungsempfehlungen im Bereich des Wassermanagements liefern zu können (z.B. Wasserversorgung in den Dörfern, landwirtschaftlich Bewässerung, etc.), wurden seit 2014 für das Fona Projekt SULAMA (Sustainable LAnd Management) hydrogeologische Untersuchungen in der Region vorgenommen.

Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen zeigen eine sehr heterogene Verteilung der Wasserreserven im Südwesten Madagaskars. Generell können aber vier hydrogeologische Einheiten unterschieden werden: Das gering durchlässige kristalline Basement, der hoch durchlässige Karst des Mahafaly Plateaus, der intermediär durchlässige Paläokanal von Itomboina und der intermediär durchlässige Grundwasserleiter der Küstenregion. Die regionale Grundwasserströmung bewegt sich radialsymmetrisch vom südlichen Zentrum Madagaskars hin zu den Küstengebieten und schließlich in den Mozambique-Kanal. Grundwasserstände sind meist oberflächennah im kristallinen Basement. Im Bereich des Plateaus sind die Grundwasserstände des Karstgrundwasserleiters 50 m bis 150 m unter der Oberfläche. Häufig, aber nur lokal sind hier schwebende Grundwasserleiter ausgebildet die sich oberflächennah, oberhalb des Karstgrundwasserleiters befinden. Im Paläokanal von Itomboina fällt der Grundwasserstand Richtung Westen ab und ist nur in der Gegend um Maoarivo oberflächennah. Im küstennahen Bereich sind durchweg oberflächennahe Grundwasserstände ausgebildet.

Grundwassergewinnung im küstennahen Bereich hat zu Salzwasserintrusionen geführt, welche die aktuelle Grundwasserqualität beeinträchtigen. Um für die Zukunft eine nachhaltige Nutzung des küstennahen Grundwasserleitersystems zu etablieren, sind zu den hier durchgeführten Voruntersuchungen weiterführende hydrogeologische Untersuchungen und Modellierungen zu empfehlen. Auf dem Mahafaly Plateau wurde die Dynamik des schwebenden Grundwasserleiters am Ort Andreмба numerisch modelliert. Erste Szenarienmodelle zeigen hier durchaus Entwicklungsmöglichkeiten für eine landwirtschaftliche Nutzung des Grundwassers zumindest während der Regenzeit. Die Szenarien-Modellierungen Andreмба sind vielversprechend auch für andere Ortschaften die Grundwasserentnahme im Rahmen einer nachhaltigen Landnutzung optimieren zu können.

Fluorid in intensiv genutzten Grundwässern Zentralmexikos: Quellen, Kontrollmechanismen, Entwicklung

Andre Banning¹, Antonio Cardona², José Joel Carrillo-Rivera³, Alfredo Aguillón-Robles⁴, Thomas R. Rude⁵, Jorge Aceves de Alba²

¹ Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

² Earth Sciences, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

³ Institute of Geography, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City

⁴ Institute of Geology, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

⁵ Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, RWTH Aachen

Kontakt: andre.banning@rub.de

Fluoridkonzentrationen in Grund- und Trinkwasser oberhalb des WHO-Grenzwertes ($1,5 \text{ mg L}^{-1}$) stellen ein Qualitätsproblem von globalem Ausmaß dar (z.B. Amini et al. 2008). Geogen erhöhtes F^- im Trinkwasser kann zu endemischem Auftreten von Dental- und Skelettfluorose in chronisch exponierten Populationen führen. Im Bereich der Stadt San Luis Potosí im semiariden zentralmexikanischen Hochland wurde Dentalfluorose in weiten Teilen der Bevölkerung beobachtet (Grimaldo et al. 1995). In der präsentierten Studie werden Ursprung und Verteilung erhöhter F^- -Konzentrationen charakterisiert sowie ein möglicher Umgang damit diskutiert.

Das Untersuchungsgebiet liegt in der östlichen Sierra Madre Occidental und wird geologisch von paläogenen, gut differenzierten Vulkaniten dominiert, die kreidezeitliche Karbonate überlagern. Hydrogeologisch kann sensu Tóth (1998) ein tiefes regionales Fließsystem in Kontakt mit den geklüfteten Vulkaniten mit hohen Wassertemperaturen ($\sim 75^\circ\text{C}$; $35\text{--}40^\circ\text{C}$ bei Förderung) und Konzentrationen an z.B. F^- , Na^+ und Li^+ von einem flacheren und kühleren ($23\text{--}28^\circ\text{C}$) Fließsystem unterschieden werden, dessen Wasser v.a. mit der überdeckenden vulkano-sedimentären Beckenfüllung in Kontakt stehen.

Geochemische und mineralogische Untersuchungen zeigen, dass die im Untersuchungsgebiet vorherrschenden sauren Vulkanite (v.a. Rhyolithe) die Quelle des gelösten Fluorids darstellen. Dabei liegt F im Gestein zu großen Teilen in Form von Topas ($\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{F}_{1.1}(\text{OH})_{0.9}$) vor, die Lösung von Fluorapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) unter hydrothermalen Bedingungen stellt allerdings den bedeutenderen Mobilisierungsprozess dar.

Durch eine intensivierte Gewinnung von Grundwasser für die Versorgung der Millionenstadt (Zunahme von $0,55$ auf $2,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ von 1962-1990) wurde die Grundwasseroberfläche um bis zu 50 m abgesenkt (Carrillo-Rivera et al. 2002). Dies führte zum Aufstieg von altem regionalem Tiefengrundwasser in die Förderbrunnen. So kommt es zu einer Mischung von tieferem und flacherem Grundwasser, deren T-F-Beziehung sich entlang einer Trendlinie mit $R^2=0,8$ entwickelt. Aufgrund dieser Beziehung schlugen Carrillo-Rivera et al. (2002) vor, der F-Problematik mit einer durch kontrollierte Mischung erreichbaren Beschränkung der Förderwassertemperatur auf maximal $28\text{--}30^\circ\text{C}$ zu begegnen, unterhalb derer mit F^- -Konzentrationen $<1,5 \text{ mg L}^{-1}$ gerechnet werden kann. Ergänzend könnte durch angepasstes Bohrlochdesign eine Lösung karbonatischer Komponenten der Beckensedimente vor der Förderung erreicht werden, die durch dann erhöhte Ca^{2+} -Konzentrationen zu einer Gleichgewichtseinstellung mit der Phase Fluorit (CaF_2), und damit zu einem F^- -Entzug durch Präzipitation führt. Neuere Daten zeigen, dass die beschriebenen Kontrollmechanismen weiterhin gültig sind, auch in neu erstellten Brunnen. Aufgrund weiter steigender Entnahmemengen und weitgehender behördlicher Nichtbeachtung der Problematik ist die Fläche des von hohen F^- -Konzentrationen betroffenen Gebietes noch einmal deutlich gewachsen.

Literatur

- Amini, M., Mueller, K., Abbaspour, K.C., Rosenberg, T., Afyuni, M., Möller, K.N., Sarr, M. & Johnson, C.A. (2008): Statistical Modeling of Global Geogenic Fluoride Contamination in Groundwaters. – *Environ. Sci. Technol.*, 42: 3662-3668.
- Carrillo-Rivera, J.J., Cardona, A. & Edmunds, W.E. (2002): Using extraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in obtained groundwater: San Luis Potosí basin, Mexico. – *J. Hydrol.*, 261: 24-47.
- Grimaldo, M., Borja-Aburto, V.H., Ramírez, A.L., Ponce, M., Rosas, M. & Diaz-Barriga, F. (1995): Endemic fluorosis in San Luis Potosí, México. – *Environ. Res.*, 68: 25-30.
- Tóth, J. (1998): Groundwater as a geological agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. – *Hydrogeol. J.*, 7: 1-14.

O 11.5: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 10:45-11:00

Numerische Bilanzierung des regionalen Tiefenwassers, einer wichtigen Grundwasserkomponente im semiariden San Luis Potosí Becken (Zentralmexiko)

Lisa Krienen¹, Thomas R. Rude¹, Antonio Cardona²

¹ RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie

² Earth Sciences, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, Mexico

Kontakt: ruede@hydro.rwth-aachen.de

San Luis Potosí (SLP) ist eine prosperierende Großstadt auf dem semiariden mexikanischen Hochplateau, in der in der letzten Dekade einige Neuansiedlungen europäischer und amerikanischer Konzerne, insbesondere der Automobilbranche, erfolgten. Damit sind zu den klassischen Akteuren, v.a. aus der Landwirtschaft, neue Erfordernisse für die Wasserversorgung eingetreten, die unter den gegebenen hydrogeologischen Bedingungen aus einer tiefen Grundwasserressource gedeckt werden. Seit den 1960er Jahren ist eine Absenkung der Grundwasseroberfläche um 0.6 – 1.8 m a⁻¹ festzustellen, die sich voraussichtlich verstärken wird.

Das ca. 500 m tiefe Becken wird aus tertiären und quartären Sedimenten über tertiären Vulkaniten aufgebaut. Über einen größeren Bereich im SW sind zwei Grundwasserstockwerke ausgebildet, die durch Auskeilen des Trenners im NE und N des Beckens die Stockwerke vereint. Grundsätzlich wurde aus hydrochemischen Daten (T, F⁻, Li⁺) ein regionales, vermutlich frühholozän gebildetes Tiefenwasser als wichtige Komponente der Grundwasserbilanz des Beckens festgestellt (Carrillo-Rivera et al. 2002; Rivera Armendariz 2016; siehe auch Banning et al., dieser Band).

Aufbauend auf einer möglichst umfassenden (hydro-)geologischen Auswertung wurde ein neues dreidimensionales instationäres, numerisches Strömungsmodell entwickelt, das gegenüber früheren Bearbeitungen, z.B. Flores-Márquez et al. (2011), López Álvarez (2012), beide Grundwasserstockwerke in einem hohen Detaillierungsgrad enthält.

Die numerische Grundwasserbilanz berechnet das zutretende, regionale Tiefenwasser auf ein jährliches Volumen von 75 Mio. m³ a⁻¹. Es ist damit die wichtigste Grundwasserkomponente verglichen z.B. zum intermediären Zustrom aus den Bergen am SE-Rand des Beckens (23 Mio. m³ a⁻¹). Rund 10 Mio. m³ a⁻¹ werden dem Speichervorrat entnommen. Dieser Wert wird sich in den kommenden Jahrzehnten deutlich erhöhen.

Von wasserwirtschaftlicher Bedeutung ist gleichermaßen die interne Bilanz zwischen dem flachen und tiefen Grundwasserleiter im Becken: Die Grundwasserentnahme aus dem tiefen Grundwasserleiter von ca. 129 Mio. m³ a⁻¹ bewirkt einen Zustrom von 49 Mio. m³ a⁻¹ aus dem oberen Aquifer. Dies erfolgt durch ungenügend gedichtete Brunnenringräume, Durchsickerung des Grundwasserhemmers und bei Auskeilen des Trenners v.a. im N und NW des Beckens. Dadurch wird zwar die Grundwasserentnahme aus dem tiefen, überbeanspruchten Grundwasserleiter etwas ausgeglichen, jedoch ist dieses Wasser, aufgrund anthropogener Belastungen, von schlechter Qualität.

Infolgedessen ist die Wasserversorgung im Becken von San Luis Potosí nicht nur durch die sinkenden Grundwasserstände in einer schwierigen Situation, sondern auf ein Grundwasser angewiesen, dass von oben anthropogen und aus dem regionalen Tiefenwasser geogen mit unerwünschten Stoffen belastet wird.

Literatur

Banning, A., Cardona, A., Carrillo-Rivera, J.J., Aguillón-Robles, A. & Rude, T.R. (2018): Fluorid in intensiv genutzten Grundwässern Zentralmexikos: Quellen, Kontrollmechanismen, Entwicklung. – dieser Band.

Carrillo-Rivera, J.J., Cardona, A. & Edmunds, W.E. (2002): Using extraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in obtained groundwater: San Luis Potosí basin, Mexico. – J. Hydrol., 261: 24-47.

Flores-Márquez, E.L., Kohn Ledesma, I. & Arango-Galván, A. (2011): Sustainable geohydrological model of San Luis Potosí aquifer, Mexico. – Geofísica Internacional, 50(4): 425–438.

López Álvarez, B., Ramos-Leal, J.A., Moran-Ramírez, J., Cardona Benavides, A. & Hernández García, G. (2013): Origen de la calidad del agua del acuífero colgado y su relación con los cambios de uso de suelo en el Valle de San Luis Potosí. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65(1): 9–26.

Rivera-Armendariz, C.A. (2016): Geoquímica y datación de sistemas de flujo de aguas subterráneas: cuencas de San Luis Potosí, Matehuala y Lagunas de Mayran Viesca y Sierra de Rodríguez. – Master thesis. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Facultad de Ingeniería), 162 p.

Poster

P 11.1

Erkundung von tiefen Grundwasserleitern in Nord-Namibia

Georg Houben¹, Markus Wallner¹, Stefan Kaufhold¹, Christoph Lohe¹, Martin Quinger¹

¹ BGR

Kontakt: georg.houben@bgr.de

Der relativ dicht besiedelte Norden Namibias leidet an einer unsicheren und qualitativ unzureichenden Wasserversorgung aus Oberflächenwasser und oberflächennahem Grundwasser, wobei letzteres oft durch Versalzung und bakterielle Kontamination betroffen ist. Langanhaltende Dürreperioden und Überflutungen verschärfen die Situation. Daher war die Entdeckung eines tiefen, Süßwasser führenden Grundwasserleiters im Cuvelai-Etosha-Becken (CEB) Ende der 1990er Jahre von großer Bedeutung für die zukünftige Entwicklung der Region. Allerdings ist sehr wenig über die geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen des Multi-Aquifer-Systems bekannt, da zudem ein großer Teil auf angolanscher Seite liegt. Die detaillierte Untersuchung der quantitativen und qualitativen Einflussgrößen ist daher das Hauptziel eines Projektes der technischen Zusammenarbeit zwischen Namibia und Deutschland, das von der Abteilung für Wasser und Forstwirtschaft (DWAF) des namibischen Ministeriums für Landwirtschaft, Wasser und Forst (MAWF) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) seit 2007 durchgeführt wird.

Nach einer Reihe von geophysikalischen Vermessungen (Transientenelektromagnetik) wurden Bohrungen erstellt. Mit Hilfe der Bohrlochgeophysik wurden drei Grundwasserleiter-Stockwerke identifiziert und mit Pumpversuchen ihre hydraulischen Eigenschaften bestimmt. Das System ist Teil eines Inland-Deltas (Mega-Fan). Das tiefe Stockwerke zeigt eine ausreichende Ergiebigkeit und eine generell gute chemische Beschaffenheit, lokal aber erhöhte Fluorid-Konzentrationen.

Zwei der Bohrungen wurden teilweise, eine durchgehend gekernt. An dem Material wurden umfangreiche geochemische, mineralogische, granulometrische und hydraulische Untersuchungen durchgeführt, um die Genese des Systems und die Rückkopplungen zur Hydrogeologie zu verstehen.

Mit Hilfe von numerischen Modellen sollten die Fließwege und Fließmengen untersucht werden. Allerdings sind belastbare Daten nur für einen relativ kleinen Teil des Gebietes verfügbar. Daher mussten die hydraulischen Begrenzungen des Systems zunächst durch eine systematische Variation der Randbedingungen bestimmt werden. Es konnte festgestellt werden, dass der tiefe Aquifer eine, wenn auch kleine, Grundwasserneubildung am Fuße des angolanschen Berglandes erfährt, eine nachhaltige Nutzung also prinzipiell möglich ist (Wallner et al. 2017). Die Ergebnisse der Untersuchungen liefern die Basisdaten für die geplante zukünftige nachhaltige Nutzung.

Literatur

Wallner, M., Houben, G., Lohe, C., Quinger, M. & Himmelsbach, T. (2017): Potential groundwater recharge to the confined semi-fossil Ohangwena II Aquifer, Namibia – Inverse modeling and uncertainty analysis. - Hydrogeology Journal [im Druck]

P 11.2

Groundwater Quality of the Northern Lake Chad Basin

Christoph Neukum¹, Helene Rieckh¹, Mélanie Ndedje-Allah Ronelngar¹, Djoret Daïra², Sara Vassolo²

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

² Tschadseekommission, N'Djamena, Tschad

Kontakt: christoph.neukum@bgr.de

In the last years the Lake Chad Region has experienced a serious humanitarian crisis due to the Nigerian refugees fleeing from Boko Haram. People face food insecurity and malnutrition and they lack access to water in adequate

quantity and quality as well as basic hygiene services. Groundwater is the most important source for water supply and its quality with respect to human consumption is of high priority. In order to improve the knowledge of groundwater characteristics in the northern basin of the Lake Chad, a field campaign was conducted. A total of 63 samples were taken: 62 from the uppermost aquifer at drilled wells and hand-dug wells and one sample from surface water. The water samples were analysed at BGR laboratories in Germany for stable isotopes, total ions and trace elements. In-situ pH, temperature, and electrical conductivity of all collected samples were measured using a handheld device.

Results show that the majority of the sampled groundwater is not suitable for drinking purposes, as 38 out of 63 water samples (60%) have a chemical composition that does not meet the WHO recommendation concerning drinking-water quality. Furthermore, if ammonia, aluminium, manganese, sodium, iron, and sulphate are considered additionally, only five out of 63 collected samples are suitable for drinking-water purposes. Fluoride concentration is the major limitation of water quality according WHO (2011) in the northern sub-area of the studied region. Concerning limitations in taste, sodium concentration is the responsible ion, which exceeds the threshold value of 200 mg/l in more than 75 % of all samples.

Although improved protection of groundwater may solve only some of the quality aspects in the study area, problems associated with the dissolution of specific ions in water during infiltration, percolation and groundwater flow may not be solved using the common tools of drinking-water protection. To overcome these problems, identification of other sources of drinking-water might be appropriate. Groundwater currently used for water supply is extracted from rather shallow depths compared to the total thickness of the upper aquifer. Consequently, it is recommended to investigate the deeper parts of the Quaternary aquifer for its suitability as drinking-water resource. Additionally, collecting more data about the lower, confined Neogene aquifer is recommended since it might be a reasonable alternative source for future water supply.

P 11.3

Grundwasservulnerabilität gegenüber Klimawandel in der Sahelzone am Beispiel Salamat (Tschad)

Stefan Broda¹, Rabea Muhrez², Michaela Rückl¹, Matthias Heckmann¹, Jörg Reichling¹

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

² TU Bergakademie Freiberg

Kontakt: stefan.broda@bgr.de

Grundwasser ist die wichtigste Trinkwasserressource in der Sahelzone mit wachsender Bedeutung auch für den Bewässerungsanbau. Wenngleich die IPCC Klimaszenarien ein widersprüchliches Bild der zukünftigen Niederschläge in der Sahelregion zeichnen, so steht außer Frage, dass gerade die semi-ariden Gebiete der Sahelzone sehr anfällig gegenüber auch geringen Klimaschwankungen sind.

Um der zunehmenden Bedeutung des Grundwassers in Zeiten des Klimawandels Rechnung zu tragen, ist eine Abschätzung der Vulnerabilität des Grundwassers gegenüber den Einflüssen des Klimawandels notwendig. Die wichtigsten Einflussgrößen auf die Grundwasserressourcen sind Grundwasserneubildung, Aquifereigenschaften und Entnahmeraten. Grundwasserneubildung ist direkt gekoppelt an Änderungen des Niederschlags und ist damit der ausschlaggebende Parameter, um Veränderungen in der Nachlieferung zu quantifizieren. Die Sensitivität eines Aquifers gegenüber äußeren Einflüssen wird durch Aquifereigenschaften wie z.B. Ergiebigkeit oder spezifische Ergiebigkeit abgeschätzt. Landnutzungs- und Vegetationswandel, aber auch eine zunehmende Nutzung der Aquifere sind zusätzliche anthropogene Stressfaktoren, die zu einer weiteren Verknappung der Ressource führen können.

Im Rahmen eines Projekts der technischen Zusammenarbeit unterstützt die Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR) die Tschadseebeckenkommission, ein Zusammenschluss der Anrainerstaaten des Tschadseebeckens, in Fragen der Grundwasserbewirtschaftung. Am Beispiel des Pilotgebiets Salamat im Südosten des Tschads werden verschiedene Punktbewertungsverfahren zur Abschätzung der Grundwasservulnerabilität gegenüber dem Klimawandel verglichen. Während die Grundwasserneubildung als wichtigster Faktor die Ergebnisse dominiert, können die Auswahl der Parameter und deren Gewichtung zu unterschiedlichen Einschätzungen der Vulnerabilität führen. Die

Sensitivität der Ergebnisse auf die Gewichtung der Parameter wird ebenso diskutiert wie die Plausibilität der erzielten Ergebnisse anhand von Auswertungen historischer Niederschlagsreihen und Grundwasserstandsinformationen.

P 11.4

The Niger River catchment – Development of a regional groundwater monitoring network

Kolja Bosch¹, Abdoulaye Abou², Didier Sèyivè Zinsou², Hamissou Abdourahamane Djibo²

¹ Grundwasserressourcen - Beschaffenheit und Dynamik, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

² Niger Basin Authority

Kontakt: kolja.bosch@bgr.de

The Niger River catchment is located in the western Sahel Zone and covers an area of 2,170,000 km². 104.5 million people are living in the catchment area which has been characterized by alternating episodes of droughts and abundant rainfalls in the last century (Niger Basin Authority, 2005). In order to establish a transboundary groundwater management for the nine member countries (Guinea, Mali, Ivory Coast, Burkina Faso, Niger, Benin, Nigeria, Cameroon and Chad) a regional groundwater monitoring network is aspired by the Niger Basin Authority (NBA), which forms the institutional body for the regional cooperation and decision making on integrated water management in the catchment area. The conception of the regional monitoring network is based on the aggregation and the extension of national groundwater monitoring networks with focus on transboundary aquifers.

We present hydrogeological data and interpretations derived from the regional groundwater network and from the associated field work in the Iullemeden and Kandi Basins. The data were produced in the frame of a bilateral cooperation project financed by the Federal Ministry of Cooperation and Development between the NBA and the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR).

References

Niger Basin Authority (2005): Rapport de synthèse régionale des études multisectorielles nationales. 1-106; Niamey (Niger).

P 11.5

The Effect of Groundwater and Rainfall on Landslide Triggering in the Central Highlands of Ethiopia: the case of Debre Sina area

Tesfay Mebrahtu¹, Stefan Wornlich¹

¹ Applied Geology, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: tesfay.mebrahtu@rub.de

Over the past 60 years, natural disasters within the central highlands of Ethiopian have increased in both frequency and intensity and have severe social impacts. Between 1990 and 2005, landslides and landslide-generated hazards have claimed about 435 human lives. It damaged over 100km asphalt road, demolished more than 1500 dwelling houses, more than 6500 people have been displaced, and devastated about 2000 hectare of agricultural land. To understand the causes and mechanisms of failures, and to identify the most relevant influencing factors, detailed geological and topographical, geohydrogeological, and geophysical investigations were carried out. The analysis involved in-situ hydraulic conductivity tests of soils, seismic refraction survey, and laboratory analyses of water samples to determine the hydrochemical content of the water in relation to the cause of the landslide of the study area. A total of 50 water samples were collected inside and outside the landslide body and analyzed for pH, Electrical Conductivity, major-ion chemistry (Cl⁻, F⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Li⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Fe), and stable isotopes (¹⁸O & ²H).

The recently affected areas indicate that numerous springs emerged at Yizaba Wein, Shotel Amba and Nib Amba localities. Particularly, the springs in the Yizaba Wein locality has changed its course. This might show that there is still active mass movement in the area. Several springs, which appear at the interface where fractured rock overlays

the weathered part and volcanic ash or where there is paleosol between the various lava flows, are common. Due to the nature of rocks and terrain conditions, groundwater occurrence, flow and distribution conditions are not the same in the area. It is manifested in the form of seepage at elevated sloppy grounds and water level conditions in the lower elevated grounds. The resulting refraction seismic revealed that the groundwater is expected within the highly weathered and fractured units and fractured zones associated with geological structures represented by 1500-2500m/sec velocities. The analysis of the water samples shows that the major water chemistry is Ca-Mg-HCO₃ and Ca-HCO₃ with low EC varying from 72 to 542µS/cm. The chemical composition of groundwater of the study area is weakly influenced by rock-water interaction and the mineral content of the water samples were generally low. Therefore, the groundwater chemistry indicate that there is a fast hydrogeological regime receiving a relatively high amount of precipitation with infiltrated water flowing in relatively lithologically homogeneous fissured and mixed aquifers developed in various volcanic rocks and intercalated Quaternary superficial deposits. The steep slope topography, the pyroclastic sediments which are susceptible to slaking erosion and the pressure formed during precipitation, the presence of geological structures and weathered material would be one of the triggering factors of landslides in this area.

P 11.6

Hydrogeology of the Nyanzari Catchment, Gitega, Burundi

Christoph Neukum¹, Christian Tiberghien¹, Matthias Heckmann¹, Kai Hahne¹, Helena Pfunt, Sara Vassolo¹

¹ BGR

Kontakt: christoph.neukum@bgr.de

Burundi is a small (27,834 km²) landlocked country on the eastern flank of the Western African Rift Valley. With about 9.8 Million inhabitants and an annual growth rate near 2.4% (from census 2008, ISTEEDU), it has one of the highest population densities in Africa - about 379 inhabitants per square kilometre. Gitega, the second biggest city of Burundi (155 005 inhabitants in the commune from the census 2008) is the only city in Burundi supplied by groundwater. The main well field is located in the Nyanzari catchment, which is situated in a complex hydrogeological setting of an undifferentiated variety of heterogeneous metamorphic rocks with a strong tectonic overprint. The well field management, maintenance and protection is the biggest challenge for its sustainability. The first step is the understanding of the local hydrogeology to build a groundwater numerical flow model aimed at further studies, mainly the definition of sustainable pumping rates and groundwater protection zones.

We present hydrogeological data, results, and interpretation of the Nyanzari catchment, which have been produced in the frame of a bilateral cooperation project financed by the Federal Ministry of Cooperation and Development between the Burundian Ministère de l'Eau, l'Environnement, l'Aménagement du Territoire et de Urbanisme (MEEA-TU) and the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR).

12 Reaktiver Stofftransport in heterogenen Grundwasserleitern

Vorträge

O 12.1: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 09:00-09:15

Mineralische Fällung als Prozess zur Speicherung von CO₂ in tonsteinhaltigen Reservoirien

Ulrich Maier¹, Alexandru Tatomir, Martin Sauter

¹ Abt. Angewandte Geowissenschaften, Universität Göttingen

Kontakt: umaier@gwdg.de

Tiefe Georeservoirs sind seit einigen Jahren in den Fokus der Forschung geraten, aufgrund ihres Potentials zur Speicherung von CO₂ und Atomtüll, Fracking- und geothermischen Anwendungen, aber auch zur Speicherung von Überschüssen regenerativ erzeugter Energie. Hierbei von Interesse sind Fragen der Speicherkapazitäten oder Ergiebigkeiten sowie Umweltbelange, insbesondere für potentielle Risiken der Grundwasserverunreinigung. Ein besonders interessanter Aspekt ist dabei der langfristige Einfluss der hydrogeochemischen Interaktion mit dem Speichergestein und dessen Einflüsse auf deren mineralische Zusammensetzung. Aufgrund der langen Zeitskalen der dafür maßgeblichen Prozesse sind zusätzlich zur Erhebung von Reservoir-Daten numerische Berechnungen unerlässlich. Hierfür notwendig ist die Berücksichtigung der unter den Bedingungen im Reservoir herrschenden Druck- und Temperatur-Verhältnissen und chemischen Zusammensetzungen der Wässer. Konsistente Konzepte hierfür stehen weitgehend erst seit wenigen Jahren zur Verfügung, wie etwa in Appelo et al. (2014) oder Appelo (2015) beschrieben. Mit der Implementierung solcher Prozesse und Konzepte in das geochemische reaktive Transportmodell MIN3P (Mayer et al., 2002) ergibt sich die Möglichkeit der Simulation von Ausfällungsreaktionen infolge von CO₂-Injektionen in Georeservoirs. Als Beispiel wurde das ehemalige Erdöl-Reservoir Heletz in Israel gewählt, in dem die CO₂-Verpressung getestet wurde und zu dem langjährige Daten vorliegen. Details wie Mineralzusammensetzung und Porenwasserchemismus sind detailliert etwa in Niemi et al. (2016), beschrieben. Das Potential der Ausfällung von Karbonaten und die langfristige Entwicklung von Porenwasser- und Mineralzusammensetzung werden anhand numerischer Simulationen mit MIN3P und Phreeqc diskutiert.

Literatur

Mayer, K.U., Frind, E.O. & Blowes, D.W. (2002): "Multicomponent reactive transport modeling in variably saturated porous media using a generalized formulation for kinetically controlled reactions." *Water Resources Research* 38(9): 1174-1195.

Appelo, C.A.J., Parkhurst, D.L. & Post, V.E.A. (2014): "Equations for calculating hydrogeochemical reactions of minerals and gases such as CO₂ at high pressures and temperatures" *Geochemica et Cosmochimica Acta* 125, 49-67.

Appelo, C.A.J. (2015): "Principles, caveats and improvements in databases for calculating hydrogeochemical reactions in saline waters from 0 to 200 °C and 1 to 1000 atm" *Applied Geochemistry* 65, 61-71.

Niemi, A., Bensabat, J., Shtivelman, V., Edlmann, K., Gouze, P., Luquot, L., Hingerl, F., Benson, S.M., Pezard, P.A., Rasmusson, K., Liang, T., Fagerlund, F., Gendler, M., Goldberg, I., Tatomir, A., Lange, T., Sauter, M. & Freifeld, B. (2016): "Heletz experimental site overview, characterization and data analysis for CO₂ injection and geological storage." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 48, 3-23.

O 12.2: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 09:15-09:30

Determination of effective kinetic laws for cement alteration due to the Kontakt with a CO₂-rich solution

Francesca De Gaspari¹, Maria Garcia Rios², Philippe Gouze²

¹ Hydrogeology Department, Institute of Applied Geosciences, TU Berlin, Ernst-Reuter-Platz 1, 10587 Berlin, Germany

² Géosciences Montpellier, CNRS-Université de Montpellier, 34095, Montpellier, France

Kontakt: f.degaspari@tu-berlin.de

Reactive transport modelling is growing as a necessary tool to study the fate of reactive solutes in the subsurface for a variety of applications including geo-energy related applications such as CO₂ injection in deep geological formations. One of the challenges posed by these models is the choice of the values for the kinetic parameters characterizing the simulated processes which can not be considered in equilibrium. Kinetic rates and reactive surface area values are of particular importance for very reactive systems, such as injection of acidic CO₂-rich solutions in deep aquifers, where dissolution processes can reduce the sealing properties of the well cement, potentially causing CO₂ to leak from the reservoir to other permeable layers and therefore having a negative impact on the environment and also on human health.

The interaction between a CO₂-rich solution and the cement is known to cause different reaction fronts to appear. The objective of this study is to determine the effective kinetic and diffusion laws of cement alteration combining an experimental and a numerical study.

To that end we first performed diffusion experiments of CO₂-rich solutions using Class G Portland cement samples at P = 12 MPa and T = 60 °C. Measurement of aqueous chemistry by ICP-MS enabled the determination of net reaction rates. SEM images of the reacted cement samples were taken to identify the reactions occurring during the alteration process and also to measure the position and the thickness of the different reaction fronts. Afterwards, the experimental results were used in an automatic calibration process whose objective is to infer the optimal set of effective reaction rate coefficients and effective surface area of the solid phases and the parameter linking diffusion to porosity changes. For this purpose we coupled a diffusion-reaction modelling tool to PEST. The statistics provided in the estimation procedure allow to quantify the effect of each parameter on the numerical results, and therefore to identify those with a consistent impact on the processes identified in the experiments.

O 12.3: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 09:30-09:45

Experimental and numerical investigations on the effect of fracture aperture distribution and geometry on fluid flow and solute transport in natural fractures

Madeleine Stoll¹, Florian Huber¹, Michael Trumm¹, Frieder Enzmann², Achim Wenka³, Eva Schill⁴,
Thorsten Schäfer⁵

¹ Institut für nukleare Entsorgung, Karlsruher Institut für Technologie

² Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

³ Institut für Mikroverfahrenstechnik, Karlsruher Institut für Technologie

⁴ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Darmstadt; und Institut für nukleare Entsorgung, Karlsruher Institut für Technologie

⁵ Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena; und Institut für nukleare Entsorgung, Karlsruher Institut für Technologie
Kontakt: madeleine.stoll@kit.edu

The impact of flow channel geometry on solute transport was studied experimentally and numerically on two differently altered fractured granites from Soultz-sous-Forêts (France). With the help of three injection and three extraction locations at the top and bottom of the fractured cores different dipole flow fields were induced. The breakthrough curves (BTCs) of the injected conservative tracer (Amino-G) were measured using fluorescence spectroscopy. Based on tomographic data obtained by μ CT (resolution 60 μ m) semi 3D numerical models were generated for both fractures by implementing the measured 3D aperture distribution to the 2D fracture geometry. Fluid flow and tracer transport are simulated using COMSOL Multiphysics®. The Navier-Stokes equations were solved using the “Laminar Flow” option. In order to study purely the physical transport process neither chemical interactions with the fracture surfaces (e.g. sorption) are incorporated nor any potential matrix diffusion.

In accordance to their geological history, both fractures are significantly different in terms of spatial heterogeneities. The fluid flow and the solute transport behavior clearly reflect these geometrical differences. The altered granite fracture is highly complex in geometry with a smaller mean aperture (0.162 ± 0.132 mm) compared to the unaltered fractured core (0.357 ± 0.112 mm). In contrast, the unaltered fracture has a geometry with a minor number of asperities and aperture distribution shifted to higher aperture values.

Regarding the experimental findings, the BTCs of the altered fracture are less homogenous compared to the ones through the unaltered fracture which confirms the tomographic imaging results. In case of the altered fracture there is a good agreement between modelled and experimental BTCs. We conclude that fluid flow through this fracture is overall dominated by the complex fracture geometry and the high number of asperities whereas the aperture distribution plays only a negligible role.

The experimental BTCs of the different flow configurations of the unaltered fracture show less deviation between each other. The wide aperture and the aperture distribution might decrease the influence of fracture walls and the fully open fracture (no asperities under the given μ CT resolution) might be the reason for the similar BTCs. However, the modelled BTCs are more irregular compared to the experimental ones with an overestimation in the tailing region giving an overall lesser agreement between the experimental and modelled BTCs.

In this work we show the major advantage in knowing the internal structure and the spatial heterogeneities of single fractures in order to interpret and understand solute transport processes in complex natural domains. Despite the simplification from a fully 3D to a semi 3D model, the presented results provide a step forward in understanding fundamental solute transport processes through natural single fractures with natural surface roughness/geometry.

O 12.4: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 09:45-10:00

Evaluation standortspezifischer Einschränkungen bei der Verwendung von Salztracern

Felix Tritschler¹, Martin Binder², Falk Händel², Diana Burghardt², Peter Dietrich¹, Rudolf Liedl²

¹ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ - Department Monitoring und Erkundungstechnologien

² Technische Universität Dresden - Institut für Grundwasserwirtschaft

Kontakt: felix.tritschler@ufz.de

Unter der Vielzahl vorhandener Markierungsstoffe zur Charakterisierung hydrogeologischer Systeme nehmen Salztracer eine besondere Stellung ein. Sie sind historisch betrachtet die ersten Substanzen, die für derartige Versuche wissenschaftlich belastbar verwendet wurden und erfreuen sich auch heute noch großer Beliebtheit, aufgrund der größtenteils geringen Kosten bei Beschaffung und Analytik, eines vertretbaren ökologischen Risikos, einfacher Detektionsmöglichkeiten und nicht zuletzt dem fortgeschrittenen Wissensstand zu ihren Eigenschaften (Käss, 1992). Dabei bietet sich auch die Möglichkeit der Verwendung natürlicher, schwach-mineralisierter Wässer als Tracer in höher mineralisierten Systemen (z.B. Singha et al., 2007; Müller et al., 2010).

Zur Beurteilung solch inverser Tracerversuche und um die standortspezifische Beeinflussung der bei diesen Tests zu erfassenden elektrischen Leitfähigkeit aufgrund von Ionenaustauschprozessen, Sorptionsprozessen oder anderen Faktoren abschätzen zu können, wurden sowohl fünf Batchtestserien zur Bestimmung der Kinetik eines möglichen Austauschverhaltens, als auch acht Säulenversuchsserien bei einer für Grundwässer unserer Breiten typischen Temperatur von ca. 10 °C durchgeführt. Je Batchtestserie wurde eine repräsentative Teilprobe eines Testsedimentes mit sechs unterschiedlichen Wässern versetzt und danach die zeitliche Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit [EC] bestimmt. Die Sedimente hatten dabei unterschiedliche Schlämmkornanteile (<0.1 bis ca. 12 % Massenanteil), die Wässer zunehmend höhere Mineralisierung (ca. 5 bis 10000 μ S/cm, teils realisiert durch natürliche Wässer und teils durch Einlösung von Natriumchlorid in entionisiertes Wasser). Die drei verwendeten Versuchssäulen waren mit drei dieser Sedimente gefüllt und wurden mit Grundwasser als Hintergrund gespült. Der Tracerdurchgang (von je 24 h Zugabedauer) mit niedriger oder höher mineralisiertem Wasser wurde am Säulenausgang mit EC-Durchflussmesszellen registriert.

Die Ergebnisse der kinetischen Batchversuche zeigen, dass die Sedimente mit höherem Schlämmkornanteil stärkere Sorptions- und Austauscheffekte aufweisen, was sich auch an den Durchbruchkurven der Markierungsversuche zeigt. Die Intensität, vor allem jedoch die Richtung, des Konzentrationsgefälles bei den Säulenversuchen hat einen entscheidenden Effekt auf die Form und die erfasste Peakkonzentration der Durchbruchkurven. Versuche mit höher mineralisiertem Tracerwasser zeigen zudem auffallend größere Wiederfindungsraten.

Es kann bekräftigt werden, dass bei der Verwendung von Salztracern kein konservatives Verhalten vorausgesetzt werden darf, sondern vielmehr, dass Effekte wie Sorption, Ionenaustausch und Massentransfer in doppelporösen Medien standortspezifisch berücksichtigt werden müssen.

Literatur

Käss, W. (1992): Geohydrologische Markierungstechnik - Lehrbuch der Hydrogeologie Band 9. Mattheß, G. (ed.), Gebrüder Bornträger: Berlin, Stuttgart.

Müller, K. et al. (2010): Imaging and characterization of solute transport during two tracer tests in a shallow aquifer using electrical resistivity tomography and multilevel groundwater samplers. *Water Resources Research*, 46(W03502), pp.1–23.

Singha, K., Day-Lewis, F.D. & Lane Jr., J.W. (2007): Geoelectrical evidence of bicontinuum transport in groundwater. *Geophysical Research Letters*, 34(March), pp.1–5.

O 12.5: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 10:00-10:15

Kinetic interface sensitive tracers for estimating the fluid-fluid interfacial areas and interface mobility in two-phase flow systems: modelling and experiments

Alexandru Tatomir¹, Tobias Licha¹, Martin Sauter¹

¹ *Angewandte Geologie, Universität Göttingen*

Kontakt: alexandru.tatomir@geo.uni-goettingen.de

Quantifying the interfacial area in porous multiphase systems has been a subject of growing interest in disciplines where mass-transfer across interfaces is involved (Hassanizadeh and Gray 1990; Reeves and Celia 1996; Niessner and Hassanizadeh 2009). In this study, a proof of concept for a novel kinetic interface sensitive tracer (KIS) (Schaffer et al. 2013; Tatomir et al. 2015) is provided through the use of well-controlled dynamic column experiments in conjunction with the use of numerical simulations. Current literature has yet to show the applicability of KIS tracers under transient conditions and verify the applicability of macro-scale simulations to compute a $pc-Sw_{awn}$ relationship. The study has shown the potential of KIS tracers in determining the awn under laboratory conditions, using a simple, low-cost experimental setup. An academic code Dumux (2-phase flow 5 component reactive transport) model and a commercial software Comsol Multiphysics (2 phase flow 2 component reactive transport) were independently used to match oil flooding (drainage) breakthrough curves determined from experimental data. Experimentally determined parameters were a key aspect in reducing the level uncertainty within the experimental system, showing a very good correlation with results of the n-octane BTC generated from curves after parameter optimization. The awn and reaction coefficient were the two primary variables essential to matching the 2-NSA concentration BTC. The reaction coefficient was determined through fluorospectrometry. The fluids used in the immiscible two phase flow column experiments are n-octane and water, which are analogue to a $scCO_2$ – brine system.

The laboratory results are in good agreement with the modelled ones and also with other results reported in the literature.

References

Hassanizadeh, S.M. & Gray, W.G. (1990): Mechanics and thermodynamics of multiphase flow in porous media including interphase boundaries. *Adv Water Resour* 13:169–186. doi: 10.1016/0309-1708(90)90040-B

Niessner, J. & Hassanizadeh, S. (2009): Modeling Kinetic Interphase Mass Transfer for Two-Phase Flow in Porous Media Including Fluid–Fluid Interfacial Area. *Transp Porous Media* 80:329–344. doi: 10.1007/s11242-009-9358-5

Reeves, P.C. & Celia, M.A. (1996): A Functional Relationship Between Capillary Pressure, Saturation, and Interfacial Area as Revealed by a Pore-Scale Network Model. *Water Resour Res* 32:2345. doi: 10.1029/96WR01105

Schaffer, M., Maier, F., Licha, T. & Sauter, M. (2013): A new generation of tracers for the characterization of interfacial areas during supercritical carbon dioxide injections into deep saline aquifers: Kinetic interface-sensitive tracers (KIS tracer). *Int J Greenh Gas Control* 14:200–208. doi: 10.1016/j.ijggc.2013.01.020

Tatomir, A.B., Schaffer, M., Kissinger, A. et al (2015): Novel approach for modeling kinetic interface-sensitive (KIS) tracers with respect to time-dependent interfacial area change for the optimization of supercritical carbon dioxide injection into deep saline aquifers. *Int J Greenh Gas Control* 33:145–153. doi: 10.1016/j.ijggc.2014.11.020

O 12.6: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 10:15-10:30

Berücksichtigung von transientem Reaktionspotential von Grundwasserleitern in fließzeitbasierten reaktiven Stofftransportmodellen

Matthias Loschko¹, Olaf Cirpka¹, Thomas Wöhling², David Rudolph³

¹ Universität Tübingen

² Technische Universität Dresden, Lincoln Agritech Ltd., Ruakura Research Centre

³ University of Waterloo

Kontakt: matthias.loschko@uni-tuebingen.de

Verunreinigungen im Grundwasser, wie zum Beispiel Nitrat, können unter geeigneten Bedingungen durch das natürliche Reaktionspotential des Grundwasserleiters abgebaut werden. Das in der gesättigten Zone meist nicht erneuerbare Potential führt zu einer zunehmenden Erschöpfung der Reaktivität des Grundwasserleiters und somit zu einem Durchbruch von Schadstoffen in Brunnen oder Oberflächengewässern. Herkömmliche Modelle für den reaktiven Stofftransport auf Einzugsgebietsebene basieren häufig auf räumlich expliziten Beschreibungen, welche infolge hoher Rechenzeiten für eine stochastische Analyse ungeeignet sind. Konzeptionelle Modelle, die auf Fließzeiten oder Expositionszeiten aufbauen, können das nachlassende Reaktionspotential nicht berücksichtigen, ermöglichen aber aufgrund der schnellen Rechenzeit stochastische Ansätze, z.B. mittels Monte Carlo Simulationen, und somit eine Quantifizierung von Unsicherheiten.

Wir stellen eine Methode vor, mit der durch konzeptionelle Vereinfachungen die Implementierung des nachlassenden Reaktionspotentials für den reaktiven Stofftransport ermöglicht wird. Dabei werden die räumlichen Koordinaten durch eine reaktionsgewichtete Fließzeit ersetzt, die sogenannte relative Reaktivität. Die relative Reaktivität ist ein Faktor, der die Zufuhr des Reaktionspartners aus der Matrix parametrisiert. Die mikrobielle Dynamik, sowie (Quer)Mischungsprozesse werden vernachlässigt. Die durch Particle Tracking erhaltenen Stromlinien, werden in Inkremente gleicher Fließzeit, aber variablem Gehalt des Reaktionspartners, eingeteilt. Dadurch kann das nachlassende Reaktionspotential berücksichtigt werden, ohne die Rechenzeit signifikant zu erhöhen. Eine stochastische Analyse mittels Monte Carlo Simulationen ist weiterhin möglich.

Die Anwendung der neuen Methode wird beispielhaft für die aerobe Atmung von Sauerstoff und die Denitrifikation demonstriert. Beide Reaktionen benutzen den matrixgebundenen organischen Kohlenstoff als Reaktionspartner, welcher wiederum die relative Reaktivität bestimmt. In einem dreidimensionalen, konzeptionellen heterogenen Grundwassermodell wird das nachlassende Reaktionspotential eines Grundwasserleiters über 200 Jahre simuliert. Eine stochastische Analyse mit 200 Monte Carlo Simulationen zeigt außerdem, dass die Unsicherheit der Vorhersage des Nitratdurchbruchs in einem heterogenen Grundwasserleiter mit zunehmender Beobachtungsskala abnimmt.

O 12.7: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 11:00-11:15

Eignung von Niederschlagswässern als aktiv eingesetzte $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Isotopentracer für die Erkundung von Grundwasserleitern

Martin Binder¹, Felix Tritschler², Diana Burghardt¹, Peter Dietrich², Rudolf Liedl¹, Falk Händel¹

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden

² Department Monitoring- und Erkundungstechnologien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Kontakt: martin.binder@tu-dresden.de

Künstliche Tracerversuche gelten als eine weitverbreitete und belastbare Methode zur Erkundung und Charakterisierung des hydrogeologischen Untergrundes. Oftmals ist hierfür ein rein konservatives Verhalten des eingegebenen Markierungsmittels unabdingbar. Diese Voraussetzung kann bei der Verwendung der schweren Wasserisotope ($\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$) als Tracer i.d.R. als erfüllt angesehen werden, jedoch limitieren hier hohe Tracer-Materialkosten eine aktive Nutzung in der hydrogeologischen Praxis. In diesem Zusammenhang wird die Eignung von Niederschlagswäs-

sern, die sich auf natürliche Weise bezüglich ihrer Isotopensignatur vom Grundwasser unterscheiden können, als aktiv eingebrachte Grundwassertracer geprüft.

Die Validierung der Annahme, dass sich Niederschlagswässer als konservative Isotopentracer eignen, erfolgte im Rahmen von 24h-Batchtestserien mit Sedimenten verschiedener Zusammensetzung sowie Wässern mit variablen Signaturen und elektrischen Leitfähigkeiten (ähnlich lokal verfügbaren Wässern). Hier zeigte sich keine signifikante Änderung der Isotopensignaturen vor und nach dem Batchversuch. In Folge wurden ergänzend Durchströmungsversuche realisiert, wobei neben Kaliumbromid und Natriumchlorid auch eine Kombination aus Deuteriumoxid und Wasser- ^{18}O (zur Abbildung eines synthetischen Regens) für eine Dauer von 24 h eingegeben wurde. Eine gute Übereinstimmung zwischen den jeweiligen Durchbruchkurven bestätigte ein konservatives Transportverhalten. Abschließend wurden natürliche Niederschlagswässer (ohne Beimischung künstlicher Isotope) in ausgewählte Säulen eingegeben, ebenfalls mit positivem Ergebnis.

Basierend auf den Laborerkenntnissen wurden Modellsimulationen für drei Tracertest-Szenarien (Push-Drift-Pull-Versuch, Zweibrunnentest, Infiltrationstest) exemplarisch durchgeführt, um notwendige Eingabemengen zur Erreichung einer Mindestauslenkung der Isotopensignatur im Peak des Durchbruchs abschätzen zu können. Der Push-Drift-Pull-Versuch benötigt hierbei erwartungsgemäß die geringste Wassermenge.

Dieses Szenario wurde abschließend am Testfeldstandort Pirna-Copitz, Sachsen, realisiert. Hierfür wurden im Januar 2017 ca. 10 m³ Neuschnee in Dresden gesammelt, unter Vermeidung eines größeren Austauschs mit der Atmosphäre geschmolzen (ca. 1 m³ Schmelzwasser) und schließlich auf dem Testfeld in den Untergrund eingebracht (Push-Phase). Die Differenz der Isotopensignatur zwischen Eingabe- und Grundwasser lag bei ca. 60 ‰ für $\delta^2\text{H}$ und ca. 8 ‰ für $\delta^{18}\text{O}$. Nach einer kurzen Driftphase wurde das Wasser zurückgepumpt (Pull-Phase) und eine deutlich erkennbare $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Durchbruchskurve erfasst.

O 12.8: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 11:15-11:30

Modellierung des PAK-Transports in heterogenen Grundwasserleitern mittels eines geschätzten Strömungsmodells

Björn Panteleit¹, Katehrina Seiter¹, Sven Jensen¹, Kay Hamer², Johannes Beienz², Robert Moor², Maria Freundt²

¹ Geologischer Dienst für Bremen

² Universität Bremen Fachgebiet Geochemie & Hydrogeologie

Kontakt: bpanteleit@gdffb.de

Der Geologische Dienst für Bremen (GDfB) hat gemeinsam mit der Universität Bremen (Fachgebiet Geochemie & Hydrogeologie) im Rahmen eines von der angewandten Umweltforschung geförderten Projektes (AUF) des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr (SUBV) einen Modellstandort im Einzugsgebiet eines ehemaligen Fabrikgeländes einer Lack- und Dachpappenfabrik (angesiedelt 1900 bis 1960) untersucht. Es liegt eine Belastung von Boden und Grundwasser mit PAK und BTEX vor, wobei die Fahnenlänge über 300 m liegt und die PAK-Konzentrationen im Grundwasser Größenordnungen über dem Geringfügigkeitsschwellenwerten liegen.

Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Untersuchung und Modellierung des Einflusses der Heterogenität des quartären Grundwasserleiters auf das Strömungs- und Transportverhalten von PAK am untersuchten Standort. Nach Darstellung des Ausbreitungsbildes im Grundwasser zeigten Mann-Kendall-Test (Connor et al. 2012) an Messreihen, dass die untersuchten Fahnenbereiche überwiegend ein stationäres und teilweise abnehmendes Bild aufzeigen. Im Folgenden wurde in einem ergänzenden Monitoringprogramm (nach Jobelius et al 2011) gezeigt, dass die PAK abgebaut werden und somit natural Attenuation eine zu betrachtende Sanierungsalternative sein kann.

In einem hochauflösenden Strömungsmodell wurden die festgestellten Heterogenitäten des Grundwasserleiters mit einem zufallsbasierten Schätzverfahren in Abhängigkeit der umliegenden Bohrbefunde extrapoliert. Mit diesem Modell wurde das Transportverhalten einiger PAK Vertreter in einem hochauflösenden Reaktions- und Transportmodell (MT3DMS) berechnet werden. Die Ausgangssituation ergab sich aus der Historischen Erkundung des Standorts. Im Modell wurde ausgehend von 1900 neben dem hydraulischen Transport der Abbau der PAK als Reaktion erster

Ordnung und die Sorption, simuliert mit einer Isotherme nach diToro (1985), implementiert als Retardation für verschiedene Szenarien berechnet. Der Vergleich von Messwerten des Monitorings innerhalb der letzten 10 Jahre am Standort und den Modellergebnissen zeigt, dass die Modellierung der Prozesse stark von den Eingangsparametern Gehalt des organischen Kohlenstoffs und der Abbaubauraten der Schadstoffe abhängt.

Ziel ist es, dass Modell im Verlauf der weiteren Sanierungsuntersuchung zur Sanierungsplanung selbst zur Interpretation von Monitoringdaten einzusetzen.

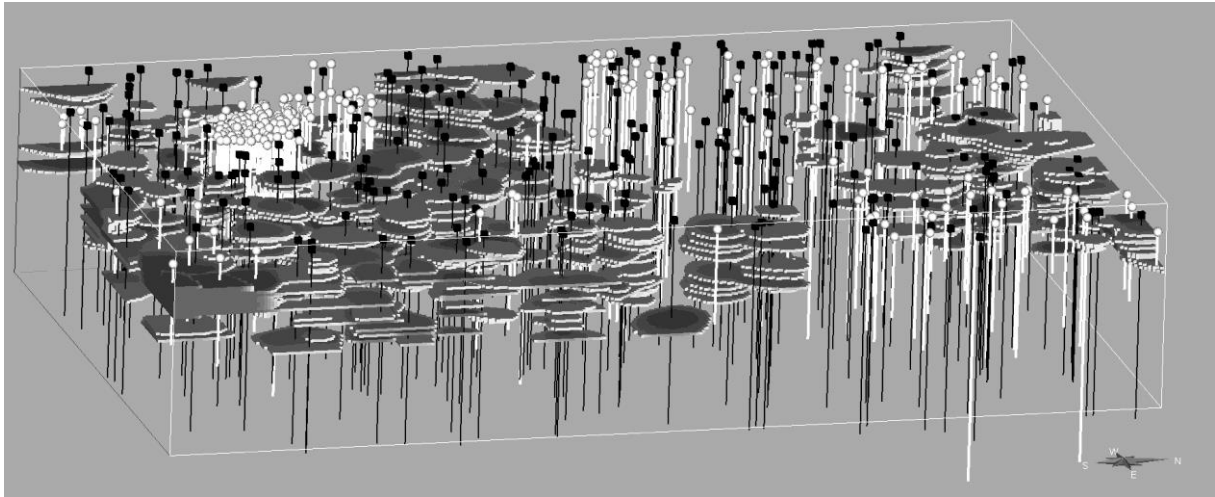


Abb. 1: Strömungsmodellgitter (440 m · 720 m in Zellen von 2,5-2,5-0,2 m) auf Basis realer (schwarz) und geschätzter (weiß) Bohrdaten. Dargestellt sind Zellen mit einem k_f -Wert kleiner $10E-7$ m/s.

Literatur

Connor, J.A., Farhat, S.K. & Vanderford, M., (2012): GSI Mann-Kendall Toolkit for Constituent Trend Analysis. User Manual Version 1.0.

DiToro (1985): A Particle Interaction Model of Reversible Organic Chemical Sorption. *Chemosphere*, 14: 1503-1538.

Jobelius, C., Ruth, B., Griebler, C., Meckenstock, R.U., Hollender, J., Reineke, A., Frimmel, F.H. & Zwiener, C. (2011): Metabolites Indicate Hot Spots of Biodegradation and Biogeochemical Gradients in a High-Resolution Monitoring Well. *Environmental Science & Technology*, 45: 474-482.

Seiter, K., Panteleit, B. & Hamer, K., (2016): Literaturstudie zum ABbau und TRansport von PAK- und BTEX-haltigen Schadstoffgemischen in heterogenen Porengrundwasserleitern. Bremer Geowissenschaftliche Berichte, 1 103 S. Shaker Verlag Aachen, ISBN 978-3-8440-4760-8

O 12.9: Vortragsreihe 3, 24.03.2018, 11:30-11:45

Entwicklung eines Werkzeuges zur großräumigen dreidimensionalen Modellierung des reaktiven Stofftransports im Grundwasser des Braunkohlenbergbaus als Planungsinstrument für die Sanierung

Kai Zimmermann¹, Wilfried Uhlmann¹, Thomas Claus¹

¹ Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Kontakt: kai.zimmermann@iwb-dresden.de

Im Lausitzer Braunkohlenrevier ist das Grundwasser großflächig und nachhaltig von der Pyritverwitterung beeinflusst. Das Grundwasser ist in vielen Fällen sauer sowie eisen- und sulfatreich. Der Grundwasserwiederanstieg führt zu diffusen Übertritten des Grundwassers in die Fließgewässer und Bergbaufolgeseen, wodurch die Wasserbeschaffenheit, die Gewässerökologie und die Wassernutzungen nachhaltig beeinträchtigt werden.

Die Sumpfung im Gewinnungsbergbau und der Grundwasserwiederanstieg im Sanierungsbergbau werden seit Jahrzehnten in der Ingenieurpraxis mit anwendungsbezogen entwickelten 2D und 3D regionalen Grundwasserströmungsmodellen begleitet. Zunehmend rücken hydrochemische Fragen, wie die Versauerung von Bergbaufolgeseen, der Stoffaustrag aus Halden und Kippen sowie der diffuse Stoffeintrag in die Fließgewässer in den Fokus. Sie können nur durch reaktive Stofftransportmodellierung im Sinne einer hydrogeochemischen Modellierung beantwortet wer-

den. Die Nutzung verfügbarer gekoppelter geohydraulischer und hydrogeochemischer Modellsoftware, wie z. B. PHAST, erfordert eine aufwendige Migration des kompletten regionalen Grundwasserströmungsmodells. Das ist aufgrund spezifischer innerer und äußerer Randbedingungen der anwendungsbezogen entwickelten Grundwasserströmungsmodelle häufig nicht möglich. Deshalb soll das etablierte hydrogeochemische Modell PHREEQC mit seiner gesamten inhaltlichen Funktionalität auf ein bestehendes geohydraulisches Modell aufgesetzt werden.

Das Modell PHREEQC wurde mit dem im Lausitzer Braunkohlenrevier verbreiteten Grundwasserströmungsmodell PCGEOFIM® offline gekoppelt. Die Trennung von Grundwasserströmung und reaktivem Stofftransport vernachlässigt Rückwirkungen der geochemischen Prozesse auf die Strömung sowie die Wirkung der hydrodynamischen Dispersion auf den Stofftransport. Beide Prozesse sind für den regionalen Stofftransport nicht relevant.

Die PHREEQC-Berechnungen erfolgen sequentiell. Bei mehreren zehntausend Modellzellen und langfristigen Prognosen über hundert Jahre führt das zu einer immensen Rechenzeit. Deshalb wurde ein Ansatz zur Parallelisierung der PHREEQC-Berechnungen in einem Computercluster entworfen.

Mit dem entwickelten reaktiven Mehrkomponenten-Stofftransportmodell erfolgte ein erster Test für ein reales Problem im Braunkohlenbergbau. Dabei stellten sich die Fragen, ob überhaupt, dann zu welchem Zeitpunkt und in welchem Ausmaß die Trinkwassergewinnung aus einer Grundwasserfassung durch den Abstrom aus einer Tagebauin-nenkippe beeinträchtigt wird. Das orthogonal diskretisierte Modell besteht aus rund 100.000 Modellzellen und berücksichtigt sieben Grundwasserleiter. Der Prognosehorizont beträgt 100 Jahre. Der Modelllauf von PHREEQC wurde unter Berücksichtigung von 20 Komponenten, Gleichgewichtsprozessen für die Lösung und Fällung von vier Mineralen sowie für den Kationenaustausch durchgeführt. Er nahm unter Nutzung von 64 Prozessorkernen handels-üblicher Personalcomputer etwa 60 Tage in Anspruch.

Poster

P 12.1

In Situ hydraulic parameter estimates for contaminated sites management – current industry practices vis-a-vis state of the art.

Kennedy O. Doro¹, Eugen Martac¹

¹ *In Situ Geotechnologies, Fugro Germany Land GmbH*

Kontakt: dorokio@yahoo.com

Heterogeneity in the shallow subsurface is rather a norm than exception in reality. Both research and industry-based applications have shown that knowledge of hydraulic and hydrogeochemical heterogeneity is required to understand the fate and transport of contaminants in soils and groundwater. Such knowledge is also useful in planning remediation or managing contaminated sites. A review of the current state of the art shows advances in possible toolbox for characterizing both hydraulic and hydrogeochemical heterogeneity. Some existing methods for (i) in situ hydraulic parameter estimates includes slug testing, injection logging, hydraulic profiling test (HPT), etc. and (ii) for hydrogeochemical characterization includes membrane interphase probing (MIP), Laser Induced Fluorescence, X-Ray Fluorescence, etc.

Research based studies and applications have also highlighted the potentials of obtaining high resolution hydraulic parameter estimates from the above highlighted methods and the value of integrating such hydraulic parameter estimates with hydrogeochemical data in a numerical modelling framework for understanding, managing and remediating contaminated sites. However, a review of current industry based application show a huge gap between the state of the art and practice.

This study therefore presents a review of the state of the art and current industry practices in the application of in situ high resolution hydraulic and hydrogeochemical techniques. We also present case application of the aforementioned techniques with emphasis on hydraulic methods. From our study, it is clear that while there is an increasing awareness

and willingness among practitioners in obtaining high resolution hydrogeochemical data using in situ methods, there seems to be a lack of corresponding interest for hydraulic parameter estimates creating a wide gap between state of the art and industry practice in this area. A reason for this may be the lack of value appreciation vis-a-vis cost. We therefore present a case application showing the estimation of hydraulic parameters from an in situ hydraulic method which can be incorporated with hydrogeochemical data to better understand, remediate or manage contaminated sites.

References

- Allegro, M. (2006): What does it mean? – In: Turm, P., Bauer, B. & Läufer, R. (eds.): Guess what. Springer, 16-44; Hintertux.
- Rusitzka, E. & Jubitz, K.-B. (1968): Trias. – In: Grundriß der Geologie der DDR, Bd. 1: 268-89; Berlin.
- Wolburg, J. (1969): Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk und Keuper Entwicklung Nordwest Deutschlands, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. – Geotekt. Forsch., 32: 1-65; Stuttgart.

P 12.2

Kritische Perkolation und Stofftransport

Adalbert Huss¹

¹ HPC Stuttgart

Kontakt: Adalbert.Huss@hpc.ag

In der Praxis der Grundwassertransportmodellierung werden die hydraulische Durchlässigkeit und die effektive, durchflusswirksame Porosität als Eigenschaften des durchströmten Mediums aufgefasst. Hierbei wird der Grundwasserleiter als ein quasi-homogenes Kontinuum gesehen, dessen Heterogenität man mit Hilfe des Homogenitätsansatzes anzunähern versucht. Bei dieser Sichtweise wird eine für den Transportprozess wesentliche Systemeigenschaft ausgeblendet: Die Schwelle, an welcher ein impermeables Medium in ein permeables übergeht. So sind poröse Medien erst dann für ein strömendes Medium durchlässig, wenn die Dichte an leitenden Verbindungen einen bestimmten Grenzwert, die sog. Perkolationsschwelle p_c , überschreitet. Bei einer Dichte unterhalb dieses Grenzwerts ist das poröse Medium praktisch undurchlässig. Bei einer Dichte darüber ist es durchlässig. Der Grenzfall, die einsetzende Durchströmung an der Schwelle wird als kritische Perkolation bezeichnet.

Das Besondere an der Perkolationsschwelle ist ihre Skaleninvarianz: Mit zunehmender Verfeinerung des Perkolationsgitters strebt die Perkolationsschwelle p_c gegen den sog. Skalierungsgrenzwert. Dies in Verbindung mit konformer Invarianz, macht den Skalierungsgrenzwert zu einer entscheidenden Größe bei der Berechnung des Stofftransports in klüftigem Festgestein und heterogenem Lockersediment.

Der Skalierungsgrenzwert ist jedoch nicht nur als Grenze zwischen gutdurchlässigen und geringdurchlässigen Materialbereichen interessant, sondern auch als Bezugsgröße für räumliche Veränderungen der Konnektivität. So ändert sich die hydraulische Durchlässigkeit in Relation zur Perkolationsschwelle. Auch die Größe der Perkulationscluster und damit die Speicherkapazität z. B. für Schadstoffe ändert sich in Abhängigkeit von der Perkolationsschwelle p_c . Diese Abhängigkeiten machen die Perkolationsschwelle für Transportmodellierung und in-situ Sanierungen besonders interessant, da hier oft fraglich ist, ob und in welchem Umfang potentielle Schadstoffnester erreicht werden können.

Gelingt es, für ein Material den Skalierungsgrenzwert abzuschätzen, können in dem durchströmten Medium Zonen unterschiedlicher Durchlässigkeit unterschieden werden. Hierbei stützt sich die Abschätzung des Skalierungsgrenzwerts auf Strukturtypen, wie sie in einzelnen Aufschlüssen ermittelt werden können, und setzt diese Beobachtungen in Beziehung zur regional-geologischen Verteilung (Geomorphologie, Tektonik, Sedimentationsraum).

Literatur

- Brosch, F.J. (1983): Zur Interpretation von Morphologie und Intensität der Klüftung von Sandsteinen – Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt 126: 9-22
- Hunt, A., Ewing, R. & Ghanbarian, B. (2014): Percolation Theory for Flow in Porous Media; Lecture Notes in Physics, Springer International Publishing.
- Klimczak, C., Schultz, R.A., Parashar, R. et al. (2010): Cubic law with aperture-length correlation: implications for network scale fluid flow; Hydrogeol J (2010) 18: 851.
- Meier, D. & Kronberg, P. (1989): Klüftung in Sedimentgesteinen; Enke Stuttgart.

- Mortimer, L., Aydin, A., Simmons, C.T. et al. (2011): The role of in situ stress in determining hydraulic connectivity in a fractured rock aquifer (Australia); *Hydrogeol J* (2011) 19: 1293.
- Ranjram, M., Gleeson, T. & Luijendijk, E. (2014): Is the permeability of crystalline rock in the shallow crust related to depth, lithology or tectonic setting? *Geofluids* 15:106–119.
- Sanford, W.E. (2017): Estimating regional-scale permeability–depth relations in a fractured-rock terrain using groundwater-flow model calibration; *Hydrogeol J* (2017) 25: 405.
- Smirnov, S. (2001): Critical percolation in the plane: conformal invariance, Cardy's formula, scaling limits, in C. R. Acad. Sci. Paris Sér. I Math., 333 (2001), no. 3, 239–244
- Stauffer, D. & Aharony, A. (1994): *Introduction to Percolation Theory*, revised 2nd edition, CRC Press.

P 12.3

Konforme Abbildungen für die Simulation der Schadstoffausbreitung

Adalbert Huss¹

¹ HPC Stuttgart

Kontakt: Adalbert.Huss@hpc.ag

Ein Grundproblem herkömmlicher numerischer Transportmodelle im realen, inhomogenen Strömungsfeld ist die Verfälschung des Ergebnisses durch numerische Dispersion. Dieser Fehlereinfluss wirkt sich gerade dort in besonderem Maße aus, wo die Ergebnisse z. B. für das Verständnis von NA- und MNA-Prozessen von Interesse sind: Im Bereich niedriger Konzentrationen und in größerer Entfernung von der Schadstoffquelle. In diesen Fällen besteht bei Verwendung herkömmlicher numerischer Transportmodelle die Gefahr erheblicher Fehleinschätzungen. Doch sind diese Fehleinschätzungen erst dann erkennbar, wenn das numerische Transportmodell anhand analytischer oder numerischer Lösungsansätze mit minimierter numerischer Dispersion überprüft werden kann.

Ein neuer Ansatz erlaubt es, 2-dimensionale numerische Transportmodelle bei homogenen und isotropen Aquifereigenschaften mit Hilfe analytischer Transportberechnungen zu überprüfen. Grundlage hierfür ist die konforme Abbildung des realen, inhomogenen Strömungsfelds und dessen Transformation in ein homogenes Strömungsfeld der gleichen Fließstrecke. Die analytische Transportberechnung erfolgt in diesem homogenen Gitter und wird anschließend auf das inhomogene Strömungsfeld projiziert.

Die Bedeutung der konformen Abbildung liegt hierbei in ihrer strengen hydraulischen Konsistenz und analytischen Genauigkeit von Potenzial und Strömungsrichtung an jedem Punkt des Strömungsfelds: Dies erlaubt, Stromlinien auch für inhomogene Strömungsfelder exakt zu berechnen, und vermeidet dadurch ein Aufsummieren von Interpolationsfehlern entlang eines Strompfads, wie dies bei diskretisierenden Verfahren unvermeidlich ist.

Der Vergleich dieses Ansatzes mit den Ergebnissen einer herkömmlichen numerischen Transportmodellierung zeigt, dass bei der Transformation des realen, inhomogenen Strömungsfelds in ein homogenes Strömungsfeld selbst unter einfachsten Annahmen qualitativ bessere Resultate erzielt werden können als bei der herkömmlichen numerischen Transportmodellierung.

Literatur

- Kober, H. (1957): *Dictionary of Conformal Representations*, Dover Publications Inc. Betz, Albert (1964): *Konforme Abbildung*, Springer Softcover reprint of the original 2nd ed., 2012
- Ivanov, V.I. & Trubetskov, M.K. (1994): *Handbook of Conformal Mapping with Computer-Aided Visualization*; Taylor & Francis Group
- Driscoll, T.A. & Trefethen, L.N. (2002): *Schwarz-Christoffel mapping*, Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics 8, Cambridge University Press

10 Jahre reaktives Mehrkomponenten-Transportmodell der Lausitz zur Prognose von Transport und Stoffausträgen

Christian Koch¹, Felix Bilek¹, Kai Mazur²

¹ GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH Dresden

² Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungs-gesellschaft LMBV, Senftenberg

Kontakt: ckoch@gfi-dresden.de

Die Grundwässer der Lausitz sind durch den jahrzehntelangen Braunkohlentagebau und die damit verbundene Belüftung und Verwitterung sulfidhaltiger Sedimente geprägt. Mit dem Fortschreiten der Sanierung und dem Wiederanstieg des Grundwasserspiegels werden die in Folge der Sulfidverwitterung mobilisierten Stoffe durch das Grundwasser gelöst und z.T. in die Oberflächengewässer ausgetragen. Die Kenntnis der zeitlichen und räumlichen Dimension dieser Stoffmobilisierung, des -transportes und der -austräge ist eine Grundvoraussetzung für die Planung und Umsetzung langfristiger Bewirtschaftungsmaßnahmen (Bilek & Luckner, 2011; Walther et al., 2015). Die für die Sanierung der stillgelegten Tagebaue verantwortliche Lausitzer und Mitteldeutsche Bergaubauverwaltungs-gesellschaft LMBV führt deshalb seit mehr als zehn Jahren das Entwicklungsprojekt „Grundwassergüte Lausitz“ (Bilek et al., 2015). Die Bearbeitung umfasste folgende Bausteine:

Aufbau eines lausitzweiten geologischen und geochemischen Modells mit insgesamt 15 stratigraphischen Einheiten. Diese wurden genutzt, um den Modellschichten existierender hydraulischer Strömungsmodelle ein entsprechendes Stoffinventar zuzuordnen.

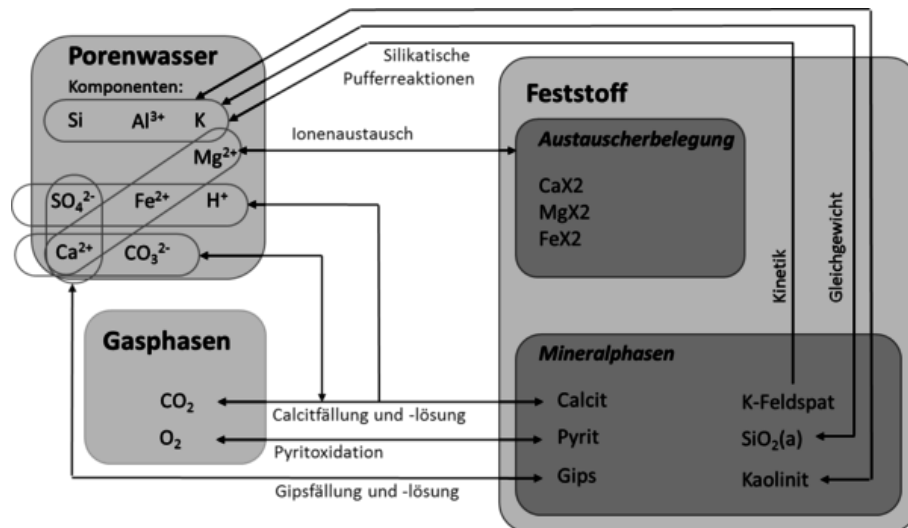
Bilanzierung der Veränderung des Stoffbestandes der Kippenkörper durch Sulfidoxidation und Sulfatreduktion. Für die Bestimmung des Umfanges der Sulfidoxidation wurden die Standzeit der Kippen, die Lage des Grundwasserspiegels und die Sulfidkonzentration berücksichtigt. Im Gewachsenen wurden Limitationen des Sauerstoff-Transportes in der ungesättigten Zone (Wassergehalt, konkurrierender O₂-Verbrauch durch Umsatz mit organischer Substanz) berücksichtigt.

Nutzung von Ergebnissen bereits vorhandener hydraulischer Grundwasserströmungsmodelle zur weiteren Berechnung des Stofftransportes. Damit konnten ohne Zeitverzug bereits vorhandene und fachlich bestätigte hydraulische Strömungsvektoren als Grundlage für den Stofftransport verwendet werden.

Entwicklung eines hydrogeochemischen Mehrkomponenten-Reaktionsmodells (Abb 1), bestehend aus 11 aquatischen, 6 festen, und 3 Oberflächen-Komponenten sowie zwei Gasphasen zur Abbildung aller relevanten Stoffumsätze während der Genese der Grundwässer und während des Transportes. Das Reaktionsmodell wurde an umfangreichen Felddaten verifiziert (Bilek, 2012).

Labor- und Felduntersuchungen zur Ermittlung modellrelevanter großräumig gültiger Parameter. Dies sind u.a. der Umfang des Gastransportes im ungesättigten Untergrund in Abhängigkeit des Wassergehaltes, die Quantifizierung der Fe(II)-Lösung und -Retardation im gewachsenen gesättigten Sediment sowie die Untersuchung der geochemischen Reaktionen in Seeböden bei der Passage von Seewasser in den abstromigen Untergrund.

Die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte bilden die Eingangsdaten für das dreidimensionale Stofftransportmodell, welches mit dem Programmcode PHT3D aufgebaut wurde (Weber et al., 2016). Das aus fünf Teilmodellen bestehende Transportmodell wird kontinuierlich fortgeschrieben.



Literatur

- Bilek, F. & Luckner, L. (2011): Bewährte Modellwerkzeuge und Nutzungsstrategien zur Prognose der Beschaffenheitsentwicklung des bergbaubedingten Grundwasserwideranstiegs. Proceedings des Dresdner Grundwasserforschungszentrums e.V., Heft 45: 169-176.
- Bilek, F. (2012): Genetic geochemical model for mining affected groundwaters of the Lusatian post-mining district. Applied Geochemistry. 27: 1081-1088.
- Walther, A., Hoth, N., Büttcher, H., Bilek, F., Geißler, M., Struzina, M. & Lucke, B.M. (2014): Prediction of sulfate concentrations and mass fluxes in aquifers influenced by lignite mining in the south of Leipzig (Germany). Proceedings of the 12th International Mine Water Association Congress IMWA, 18-22 Aug. 2014. Xuzhou, China.
- Bilek, F., Koch, C. & Weber, A. (2015): Laborative und modelltechnische Werkzeuge der großräumigen Güteprognose, Proceedings des Dresdner Grundwasserforschungszentrums e.V., Heft 51.
- Weber, A., Koch, C., Totsche, O. & Bilek, F. (2016): Reactive transport modelling of iron-II and sulphate in the former Lusatian lignite mining areas. Proceedings of the International Mine Water Association Congress IMWA, 11-15 July. 2016. Leipzig, Germany.

13 Nitrat und Bedeutung der Denitrifikation in der Wasserversorgung

Vorträge

O 13.1: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 15:45-16:00

Reduzierung diffuser Stoffeinträge in die Gewässer – Das neue DVGW-Arbeitsblatt W 104

Richard Beisecker¹

¹ Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft (IfÖL)

Kontakt: rb@iföel.de

Die Gewässerbelastungen aus der Landwirtschaft, insbesondere der Einträge von Nitrat sowie der Wirkstoff(reste) und der relevanten (rM) und nicht relevanten Metaboliten (nrM) der Pflanzenschutz- und -behandlungsmittel (PSBM), sind nach wie vor zentrale Probleme des Gewässerschutzes in Deutschland. Wie der Nitratbericht (2016) der Bundesregierung einmal mehr bestätigt, gibt es immer noch erhebliche Defizite bei der Umsetzung der Nitratrichtlinie in Deutschland. Auch wenn mittlerweile das DüG und die DüV novelliert wurden und es einen Entwurf zur StoffBilV gibt, werden diese Vorgaben zur guten fachlichen Praxis bei der Düngung nicht ausreichen, die Qualitätsziele des WHG, die in den Schwellenwerten der GrV und den UQN der OGewV festgelegt sind, zu erreichen (Beisecker, 2017).

Der Deutsche[r] Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) hat bereits im Oktober 2004 das Arbeitsblatt W 104 – Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung veröffentlicht, das aktuell überarbeitet und 2016 als Gelbdruck (DVGW, 2016) veröffentlicht wurde. Das Arbeitsblatt W 104 mit dem Status einer technischen Regel gibt einen Überblick über die Grundsätze und Maßnahmen für die flächendeckende und standortspezifische Umsetzung einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung. Die Beachtung dieser Grundsätze und Maßnahmen soll die Einhaltung maximal tolerierbarer Emissionswerte sicherstellen, um die Bewirtschaftungsziele des WHG zu erreichen. Bezüglich der Nitratbelastung ist als Zielwert für den Gewässerschutz ein Nitrataustrag von maximal 10-40 kg·N/(ha·Jahr) einzuhalten, um langfristig Nitratkonzentrationen an der Grundwasseroberfläche von <50 mg/l zu gewährleisten.

Zur Erfolgskontrolle der gewässerschützenden Landbewirtschaftung gibt es spezifische Verfahren und Methoden, die in Bezug auf die Stickstoffproblematik im DVGW Arbeitsblatt W 104-2 (M) (DVGW, 2013) (inhaltsgleich mit dem Merkblatt DWA-M 911) mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen erläutert sind. Zur Beurteilung der N-Effizienz landwirtschaftlicher Betriebe ist die Berechnung des N-Saldos der Hoftorbilanz (vergleichbar zur Stoffstrombilanz) besonders geeignet, da dieser alle landwirtschaftlichen N-Verluste erfasst. Mehrjährige Hoftorbilanzergebnisse aus Hessen zeigen, dass der aus Sicht des Gewässerschutzes anzustrebende Zielwert von <40 kg N/(ha·a) nur von Öko- und Ackerbaubetrieben unterschritten wird. Dabei zeigt sich, dass der N-Saldo (brutto) der Hoftorbilanz umso höher ist, je höher der Viehbesatz der Betriebe ist. Aus Sicht des Gewässerschutzes ist auf Ackerland die N-Düngung mit organischen und organisch-mineralischen Düngern auf max. 120 kg N/(ha·a) zu begrenzen.

Literatur

Beisecker, R. (2017): Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung - Das neue DVGW-Arbeitsblatt W 104. Gewässerschutz Wasser Abwasser 245 Band 50, S. 32-1-17. Aachen, 2017.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2016): Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung. Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW W 104 (A); DVGW, Bonn.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2013): Möglichkeiten der Effizienzkontrolle zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs. Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW W 104-2 (M); DVGW, Bonn.

O 13.2: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 16:00-16:15

Nitratmonitoring durch Untersuchungen der Sickerzone mit Hilfe von Tiefsondierungen

Hartwig Drechsler¹

¹ Drechsler Ingenieurdienst

Kontakt: post@drechsler-ingenieurdienst.de

Die Erfolgskontrolle von Beratung und Maßnahmen zum Grundwasserschutz ist eine wesentliche Komponente der Kooperationsarbeit von Landwirtschaft und Wasserwirtschaft in Trinkwasserschutzgebieten. Zur Ermittlung von Stickstoffausträgen aus dem Boden, die als Folge der Landbewirtschaftung auftreten, ist die Messung der Nitratkonzentration im Sickerwasser ein sehr geeignetes Instrument. Die Tiefsondierungen erkunden dabei den Bereich von der Wurzelzone bis zur Grundwasseroberfläche. Die abschnittsbezogene Probenahme bei Tiefsondierungen ermöglicht zudem die Zuordnung des Sickerwassers zu einzelnen Bewirtschaftungsjahren. Hierdurch wird es möglich, die Auswirkungen von landwirtschaftlichen Anbauverfahren sowie von Agrarumweltmaßnahmen im Hinblick auf ihre Wirkungen für den Grundwasserschutz zu bestimmen. Ein solches Nitratmonitoring des Sickerwassers stellt zudem für das Wasserversorgungsunternehmen eine gebietsbezogene, qualitative "Eingangskontrolle" hinsichtlich der Grundwasserneubildung dar. Es kann auch als Eingangsgröße für weitere Untersuchungen zum Nitratabbauvermögen im Grundwasserleiter genutzt werden.

Literatur

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2013): Merkblatt DWA-M911 "Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs; DWA-Regelwerk. Hennef.

O 13.3: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 16:15-16:30

Bedeutung von Denitrifikationsprozessen für die Wasserversorgung

Carsten Hansen¹

¹ Wasserressourcenmanagement, Consulaqua Beratungsgesellschaft mbH, HAMBURG WASSER

Kontakt: carsten.hansen@consulaqua.de

Hohe Nitratkonzentrationen stellen die Hauptbelastung für das Grundwasser in Deutschland dar und sind meist auf hohe Stickstoffbilanzüberschüsse in der Landwirtschaft zurückzuführen. In vielen Grundwasserleitern leisten Denitrifikationsprozesse einen entscheidenden Beitrag zur Minderung der Nitratbelastung des Grundwassers und gewährleisten (noch) die Entnahme nitratarmer Rohwässer. Das Nitratabbauvermögen der Grundwasserleiter ist meist an die nur in Spuren vorkommenden Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff und Pyrit gebunden. Es ist eine endliche Ressource, die durch die weiterhin hohen Nitrat-Eintragsfrachten fortschreitend aufgezehrt wird. Die Erfassung und Bewertung eines nachlassenden Nitratabbauvermögens sowie Folgen und mögliche Maßnahmen werden aus Sicht des Grundwasserschutzes und der Wasserwirtschaft erörtert.

O 13.4: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 16:30-16:45

Untersuchungen zu Nitratreinträgen und Nitratabbau im Grundwasser in Nordrhein-Westfalen

Michael Eisele¹, Sabine Bergmann

¹ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz

Kontakt: michael.eisele@lanuv.nrw.de

Im Rahmen des Projekts GROWA+ NRW 2021 werden die diffusen Stickstoffstoffeinträge in das Grundwasser für NRW flächendeckend und räumlich differenziert quantifiziert. Darauf aufbauend soll ermittelt werden, in welcher Höhe die Stickstoffeinträge reduziert werden müssen, um die von der EU vorgegebenen Umweltziele zu erreichen.

Weiterhin ist zu untersuchen, welche Zeiträume aufgrund der Verweil- und Fließzeiten für die Wirksamkeit von Maßnahmen einzukalkulieren sind. Auch gilt es zu prüfen, welche Maßnahmen effizient sind und tatsächlich umgesetzt werden können. Als Grundlage für diese Untersuchungen müssen alle Komponenten des Wasser- und Stickstoffhaushaltes möglichst genau erfasst werden. Eine Herausforderung stellt dabei unter anderem die Abschätzung der Denitrifikation im Grundwasser dar. Diese konnte bisher nur mithilfe modellbasierter Annahmen auf hydrochemische Indikatorparameter gestützt, grob klassifiziert werden. Möglichkeiten zur Validierung dieser Annahmen für NRW bestanden nicht.

Zur Beurteilung der tatsächlich in das Grundwasser eingetragenen Stickstoffmengen bzw. der Höhe der Denitrifikation bietet sich die N_2/Ar -Methode an. Dabei werden ergänzend zu den klassischen Grundwasserparametern die im Grundwasser gelösten Gase Argon und N_2 gemessen und in Relation gesetzt. In dem Maße, wie der N_2 -Gehalt von dem üblichen $N_2/Argon$ -Verhältnis abweicht, kann dieser „Exzess- N_2 “ als Abbauprodukt des in das Grundwasser eingetragenen Nitrats abgeschätzt werden.

Um einen Überblick über die Intensität des Nitratabbaus sowie über die im neugebildeten Grundwasser vorliegenden Nitratkonzentrationen zu erhalten, wurden in NRW zunächst 74 Messstellen anhand vorgenannter hydrochemischer Indikatoren ausgewählt, um die bisherigen Annahmen zu prüfen und um die Anwendbarkeit und Aussagekraft der Methode zu testen. Daraufhin wurden 175 Messstellen repräsentativ für unterschiedliche Regionen und Landnutzungseinflüsse untersucht (Abb.1). Ausgewählt wurden unter anderem Messstellen in intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteten Gebieten, für die ein hoher Stickstoffeintrag sowie eine relevante Denitrifikation erwartet werden. Ein ergänzender Schwerpunkt wurde auf Messstellen unter Waldeinfluss und teufendifferenziert beprobbare Messstellen gelegt. Die Auswertung soll den Zusammenhang des Nitratabbaus mit hydrochemischen und Standortbedingungen näher beleuchten.

Erste Ergebnisse belegen, dass der tatsächlich vorhandene Nitrateintrag lokal/regional in NRW z.T. unterschätzt werden kann, wenn nur die im Grundwasser aktuell gemessenen Nitrat-, Nitrit- und NH_4 -Werte zur Situationsbeurteilung eingesetzt werden. Das bedeutet auch, dass diese ergänzenden Untersuchungen wichtig sind, um zukünftige Entwicklungen, gegensteuernde Maßnahmen und deren Wirkung zutreffend beurteilen zu können. In der Präsentation werden die Ergebnisse dieser Auswertungen vorgestellt und ein Ausblick auf die Nutzung der Untersuchungen zur Validierung von Nitrateintragsberechnungen gegeben.

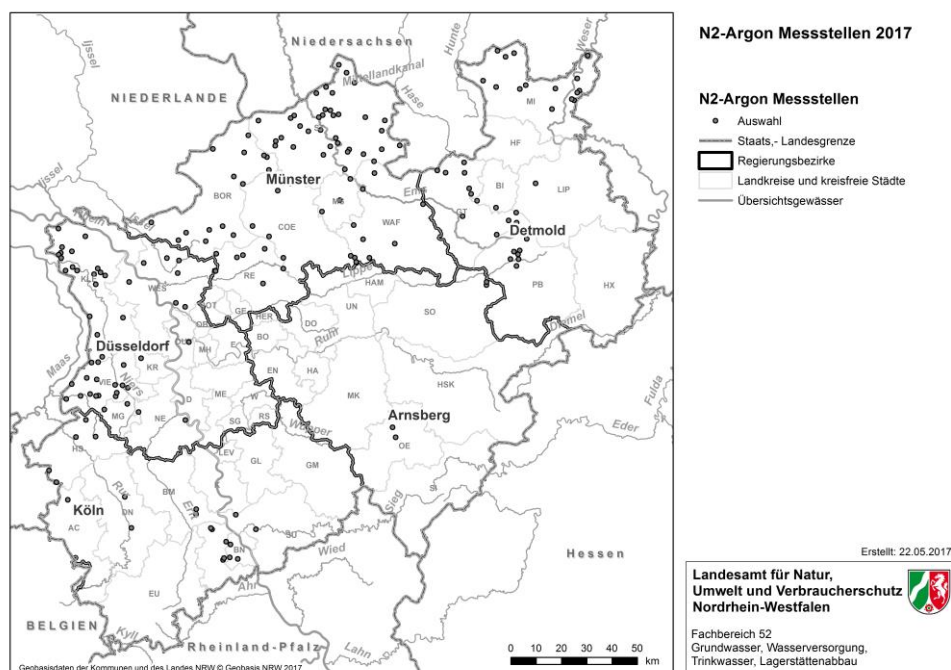


Abb. 1: Verteilung der im Jahr 2017 mit der N_2/Ar -Methode hinsichtlich des Exzess- N_2 untersuchten Messstellen des LANUV NRW.

Chemo-lithotropher Nitratabbau – wie lange kann Pyrit das Grundwasser noch schützen?

Thomas R. Ruede¹, Roland Schindler², Bettina Meyer³, Katharina Greven², Alexandra Galisson¹

¹ RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie

² NEW NiederrheinWasser GmbH

³ Consulaqua Hildesheim

Kontakt: ruede@hydro.rwth-aachen.de

In der Niederrheinischen Bucht werden derzeit aus dem zweiten und dritten Grundwasserstockwerk weitgehend nitratfreie Rohwässer gewonnen. Cremer (2015) hat in einer umfangreichen Auswertung langjähriger hydrochemischer Rohwasserdaten für den Tätigkeitsbereich des Erftverbands gezeigt, dass für 52 % der Wassergewinnungen ein Nitratabbauprozess belegbar ist. Den größten Anteil hat dabei die chemo-lithotrophe Denitrifikation v.a. durch Pyrit im Aquifergestein.

Die häufigste Ursache für den derzeit überwiegend schlechten Zustand der Grundwasserleiter ist der übermäßige Eintrag von Nitrat aus Wirtschaftsdünger (z.B. LANUV 2014). Dem chemo-lithotropen Abbau kommt daher eine große wasserwirtschaftliche Bedeutung zu (z.B. DVGW 2013). Es liegt allerdings eine große Spanne zeitlicher Angaben für das Nitratabbaupotenzial aus unterschiedlichen Untersuchungsmethoden vor, die von wenigen, 15 - 20 Jahren (z.B. Cremer 2015), bis zu Jahrhunderten (z.B. Wisotzky et al. 2007) reichen. Mit dieser Spanne ist eine Beurteilung des Handlungsbedarfs im konkreten Fall einer Wassergewinnungsanlage schwierig bis unmöglich. DVGW und DWA haben in einem Themenheft eine Reihe angewandeter Verfahren zur Ermittlung der Nitratabbauprozesse und zur Bestimmung der Dauer des Nitratabbaus zusammengestellt (DWA 2015).

Vor diesem Hintergrund hat die NEW NiederrheinWasser GmbH im Vorfeld einer Wassergewinnungsanlage eine Forschungsbohrung niedergebracht. Durch ein hydraulisches Fenster wird auch hier Nitrat aus dem oberen Stockwerk in das wasserwirtschaftlich genutzte dritte Stockwerk (Horizont 11B-8) eingetragen. An diesem Standort werden verschiedenste Methoden zur Ermittlung des Nitratabbaupotenzials in ihrer Durchführung, den gewonnenen Erkenntnissen und letztlich dem ermittelten Abbaupotenzial vergleichend getestet.

Die eingesetzten Verfahren sind 1) die Auswertung hydrochemischer Zeitreihen, 2) die Berechnung der verbleibenden Dauer des Nitratabbaus aus geochemischen Daten an erbohrten Sedimenten, 3) die Messung des Exzess-N₂ mit der N₂/Ar-Methode, 4) die Messung der stabilen Isotopenverhältnisse im Nitrat und Sulfat 5) der Einsatz isotopisch markierten Nitrats zur Bestimmung von Umsatzraten, 6) mehrstufige Push-Pull-Versuche zum in-situ Nitratabbau in der zur Messstelle ausgebauten Bohrung, 7) Langzeitsäulenversuche zum chemo-lithotropen Nitratabbau an Linerproben, und 8) die hydrogeochemische Modellierung der Nitratabbauprozesse und des Nitrattransportes.

Literatur

Cremer, N. (2015): Nitrat im Grundwasser. Konzentrationsniveaus, Abbauprozesse und Abbaupotenzial im Tätigkeitsbereich des Erftverbands.- 311 S.; Bergheim.

DVGW (2013): Konsequenzen nachlassenden Abbauvermögens in Grundwassereitern.-Forschungs- und Entwicklungsvorhaben W1/06/08 - Abschlussbericht Teil A -Allgemeiner Teil: 179 S.; Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.; Bonn.

DWA (2015): Stickstoffumsatz im Grundwasser.- DWA-Themen, T2/2015, 87 S.; Hennef.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2014): Nitrat im Grundwasser. Situation 2010 bis 2013 und Entwicklung 1992 bis 2011 in Nordrhein-Westfalen.- LANUV-Fachbericht 55: 113 S.; Recklinghausen.

Wisotzky, F., Mäurer, D. & Kraft, C. (2007): Angewandte Beispiele zur Hydrochemie tiefer Grundwässer.- In: Bender, S., Wohnlich, S., Wisotzky, F. (Hrsg.): Bochumer Grundwassertag: Bewirtschaftung tiefer Grundwässer. Bochumer Geowissenschaftliche Arbeiten, 11: 17-25.; Bochum.

O 13.6: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 17:00-17:15

Der Einfluss von Nitrat auf das Vorkommen von Spurenelementen (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd) in anaeroben Grundwasserleitern

Thomas Riedel¹

¹ IWW Zentrum Wasser

Kontakt: t.riedel@iww-online.de

Das Vorkommen von Spurenmetallen im Grundwasser ist im Wesentlichen durch Verwitterung und Lösungsgleichgewichte bestimmt. Viele Spurenmetalle sind zudem redox-sensibel und deren Löslichkeit wird stark vom Redoxzustand kontrolliert. Flächenhafte Einträge von Nitrat können zu einer Veränderung im redox-chemischen Milieu in anaeroben Grundwasserleitern führen und somit das Verhalten von Spurenelementen wesentlich beeinflussen. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht sind die Folgen des Nitratreintrags für das Vorkommen von Spurenelementen noch nicht vollständig untersucht und bewertet worden. Um das Ausmaß der Nitratabhängigen Mobilität von Spurenelementen im Grundwasser zu erfassen, wurde ein großer regionaler hydrogeochemischer Datensatz mit mehr als 12.000 Grundwasseranalysen an etwa 2.000 Grundwassermessstellen untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass Nitrat über direkte als auch indirekte Prozesse die Mobilität von Spurenelementen beeinflusst. Direkte Prozesse wie die oxidative Umwandlung von Pyrit durch Reaktion mit Nitrat unterstützen die Mobilisierung von Spurenelementen wie Kupfer, Nickel, Molybdän, Uran oder Zink. Indirekte Prozesse können zu einer Verminderung der Spurenelementkonzentration führen, z.B. wenn die reduktive Freisetzung von Arsen durch den Wechsel von Eisen- zu Nitratreduzierenden Bedingungen unterbunden wird. Für Chrom und Vanadium hingegen ist der Einfluss durch Nitrat weniger eindeutig.

Die aus wasserwirtschaftlicher Sicht relevanten Zielgrößen der Trinkwasserverordnung werden am ehesten in Grundwasserleitern überschritten, in denen Nitratabbau über Pyrit stattfindet. Vor allem Elemente wie Arsen, Nickel, Uran und Zink, die mit sedimentärem Pyrit assoziiert sind, können hier im Hinblick auf die geltenden Grenzwerte problematisch werden. Der heterotrophe Nitratabbau kann außerdem zu deutlich messbaren Urankonzentrationen führen.

O 13.7: Vortragsreihe 3, 22.03.2018, 17:15-17:30

Experimentelle und numerische Untersuchungen zur konkurrierenden heterotrophen und autolithotrophen Denitrifikation in pyrit-reichen Aquiferen

Dustin Knabe¹, Christoph Kludt², Diederik Jacques³, Kay Knöller⁴, Christoph Schüth⁵, Irina Engelhardt¹

¹ Fachgebiet Hydrogeologie, Technische Universität Berlin

² Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

³ Institute for Environment, Health and Safety (EHS), Belgian Nuclear Research Centre

⁴ Department Catchment Hydrology, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Halle

⁵ Fachgebiet Hydrogeologie, Technische Universität Darmstadt

Kontakt: dustin.knabe@tu-berlin.de

Nitrat ist trotz intensiver Maßnahmen und Überwachungskonzepte immer noch ein kritischer Schadstoff im Grundwasser besonders in Regionen mit intensiver Landwirtschaft. Denitrifikation in der ungesättigten Zone und im Grundwasser reduziert die primär erhöhten Nitratreinträge in vielen Aquiferen, jedoch sind die Denitrifikationspotentiale von Aquiferen begrenzt. Die Begrenzung erfolgt in erster Line durch die initialen Gehalte von Elektronendonatoren (häufig organischer Kohlenstoff und Pyrit). Es wurden zunächst Säulenexperimente durchgeführt, welche mit natürlichen Sediment befüllt wurden, dass durch erhöhte Konzentrationen von organischem Kohlenstoff (TOC 3247 mg-C/kg) und Pyrit (CRS 150 mg/kg) charakterisiert ist. Die Säulen wurden anschließend mit Wasser, mit hohem Nitratgehalt (100 mg/L) durchströmt. Es wurden hochauflösende Messungen über 160 Tage am Abfluss und an 4 weiteren Messpunkten entlang der Säule auf Nitrat, Nitrit, Sulfat sowie N- und S-Isotope analysiert. Die Messda-

ten ermöglichen, ein reaktives Stofftransportmodell zu erstellen um das langzeitliche Denitrifikationspotential von Aquiferen zu quantifizieren. Das neu erstellte reaktive Transportmodell koppelt eine Vielzahl an kinetischen Reaktionen: i) Nitratreduktion durch Oxidation von organischem Kohlenstoff (Heterotrophe Denitrifikation), ii) Nitratreduktion durch Oxidation von Pyrit (Autolithotrophe Denitrifikation), iii) Transport und Wachstum von denitrifizierenden Mikroben. Das Modell berücksichtigt die Reduktion von Nitrat zu Nitrit und von Nitrit zu N_2 . Mittels Tikhonov Regularisierung wurde eine Überparametrisierung vermieden und Parameter mit hoher Unsicherheit identifiziert. Die Ergebnisse des numerischen Modells zeigen eher geringe Denitrifikationsraten max. 11 mmol-N/(L*a) für den heterotrophen und hohe Raten bis zu 48 mmol-N/(L*a) für den autotrophen Nitratabbau. Beide berechneten Raten sind direkt von der mikrobiellen Wachstumskinetik abhängig. Hochreaktiver organischer Kohlenstoff war der zunächst oxidierte Elektronendonator, während Pyritoxidation erst nach einer Adaptionsphase einsetzte und nachdem reaktiver organischer Kohlenstoff vollständig verbraucht war. Diese zeitliche Reihenfolge der Denitrifikation spiegelt jedoch nicht die Größe der Abbauraten wieder. Die erst nach 2 Monaten einsetzende autolithotrophe Denitrifikation zeigte sich als der relevante Prozess zur Nitratreduktion. Trotz hoher Denitrifikationsraten während der Pyritoxidation stieg nach 160 Tagen die Nitratkonzentration im Ausfluss wieder auf ca. 50 mg/L. Zu diesem Zeitpunkt waren 0.5% des TOC und 46% des Pyrits verbraucht. Der primär im Boden vorhandene TOC ist daher nur zu einem geringen Anteil als reaktiver Kohlenstoff am Nitratabbau beteiligt. Auch bei den Pyritmineralen sind Mineralphasen im Boden ausgebildet, die nicht zur Nitratreduktion beitragen. Damit wurde nach nur 5 Monaten Nitratzufluss bereits 50% des injizierten Nitrates nichtmehr im Boden abgebaut.

Poster

P 13.1

Groundwater, climate change and air pollution impacts from manure amendment to agricultural soils

Johannes Christoph Haas¹, Sajeev Erangu Purath Mohankumar²

¹ Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz Geocenter; FWF-DK Climate Change, Karl Franzens Universität Graz

² Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (ISIS); FWF-DK Climate Change, Karl Franzens Universität Graz, Österreich

Kontakt: johannes.haas@uni-graz.at

The addition of manure to agricultural soils is a widely used fertilization technique. However, addition of manure is associated with detrimental effects to groundwater, particularly nitrate loading of groundwater. Increased nitrate concentration in groundwater and subsequently drinking water, can lead to various well known negative impacts which are widely covered in academic literature and the general media.

Manure addition to agricultural soils is not only limited to groundwater contamination. It also leads to emissions of nitrous oxide (N_2O) and ammonia (NH_3). N_2O is a greenhouse gas and causes climate change leading to issues such as sea level rise, increase in extreme weather events and losses in food production. NH_3 on the other hand, is an air pollutant causing harm to human health and biodiversity. Application of manure to agricultural soils contributes to 10% NH_3 and 9% N_2O of the total emissions from agricultural sector in the EU-28. Hence addressing issues related to groundwater contamination, climate change and air pollution impacts from addition of manure to agricultural soils are imperative.

There are two main methods of manure addition to soils, namely – injection and surface spreading. From an emissions standpoint, preliminary estimates show that while injection of manure reduces NH_3 emissions by $71 \pm 25\%$ relative to surface spreading, it leads to an increase in N_2O emissions by $259 \pm 416\%$ [1]. Hence there are trade-offs between manure application methods with respect to air pollution and climate change. The impact of manure application methods on nitrate loading of groundwater seems to be rarely discussed in literature. A review of available sources indicates mixed results. While some studies suggest that the manure application method might not impact

nitrate leaching [2] others point out that injection of manure could lead to higher leaching of nitrate into groundwater relative to surface spreading [3].

The objective of this study is to investigate the extent and quantify the trade-offs related to groundwater contamination, air pollution and climate change with the addition of manure to agricultural soils. Such an analysis which brings together these diverse aspects is virtually non-existent in literature. The results and analysis presented in this study would be a preliminary step forward in initiating a dialogue between the water and air emissions community.

References

- [1] Sajeev, E.P.M., Winiwarter, W. & Amon, B. (2017) Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Different Stages of Liquid Manure Management Chains: Abatement Options and Emission Interactions. J ENVIRON QUAL (Revised, Under Review).
- [2] Kayser, M., et al. (2015): Nitrate leaching is not controlled by the slurry application technique in productive grassland on organic-sandy soil. AGRON SUSTAIN DEV, 2015. 35(1): p. 213-223.
- [3] McGechan, M. & Wu, L. (1998): Environmental and economic implications of some slurry management options J AGR ENG RES. 71(3): p. 273-283.

P 13.2

Quantification of nitrate reduction potential and kinetics of soil samples obtained from sandy aquifers, Schleswig-Holstein, Germany

Alexandra Giber¹, Christine Kübeck¹, Christoph Schüth², Frank Steinmann³, Thomas Olderog³

¹ IWW Rhenisch-Westfalian Institute for Water Consulting and Development Services Department Water resources Management Water Catchment, Biebesheim am Rhein, Germany

² Technical University of Darmstadt, Institute for Applied Geosciences, Darmstadt, Germany

³ Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Germany

Kontakt: a.giber@iww-online.de

Today, the majority of European farmland is dominated by industrial agriculture – an intensive food production featuring enormous single-crop farms and animal production facilities – causing an agricultural nutrient surplus especially in nitrogen within the environment. As a consequence, this intense agricultural activity has already led to high nitrate concentrations above the drinking water limits of 50 mg/l in nearly 30 % of the shallow groundwater bodies in Germany. Still a large number of groundwater bodies show low nitrate concentrations due to natural attenuation processes. With continuing input of nutrients the denitrification capacity within these aquifers decreases and may lead to an rapid increase of nitrate concentrations. In this context, we analysed the content of denitrification capacity (sulfide-/disulfide sulfur and organic carbon) and its reactivity at 60 locations in Schleswig-Holstein. Sediment samples were collected within the upper groundwater layer up to 12 m depth. The content of sulfide-disulfide and organic carbon were quantified by solid phase analysis. Furthermore, under scanning electron microscope (SEM) analysis, different structures of iron- and sulfur rich compounds were observed and in some cases, pyrite framboids could be identified. Denitrification potential was investigated from laboratory batch experiments that contained sediments with different concentrations of the above-mentioned electron donors. The autotrophic and heterotrophic denitrification reactions were modelled and the kinetic rates were determined with the usage of the hydrogeochemical transport model, PHREEQC.

P 13.3

Nitrateintrag und Prognose zum Nitratabbau im Wassergewinnungsgebiet Holsterhausen/Üfter Mark der RWW mbH

Felix Ortmeyer¹, Axel Bergmann², Frank Wisotzky¹

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

² Rheinisch Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH

Kontakt: felix.ortmeyer@rub.de

In Deutschland ist die häufigste Ursache für die Belastung des Grundwassers der Eintrag von Nitrat. Auch im Wassergewinnungsgebiet Holsterhausen/Üfter Mark werden im Grundwasser seit Jahren hohe Nitratkonzentrationen gemessen, die zum Teil weit über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung liegen. Die Rohmischwässer der beiden Brunnengalerien Holsterhausen und Üfter Mark weisen jedoch noch unterhalb des Grenzwertes liegende Nitratkonzentrationen auf.

Um die zurückliegenden Nitratreinträge zu ermitteln, wurden zunächst vorhandene Grundwasseranalysen aus dem Zeitraum von Mai 1993 bis Dezember 2016 ausgewertet. Hier lag neben der Nitratkonzentration vor allem das Interesse auf den Reaktionsprodukten Sulfat und CO₂-gesamt, die auf einen Nitratabbau hindeuten können. Zur Ermittlung der Nitratabbaukapazität des Grundwasserleiters erfolgte eine Beprobung der Lockergesteine aus sieben Bohrungen, die auf ihre Gehalte an Pyrit-Schwefel und organischem Kohlenstoff analysiert wurden. Anhand der ermittelten Gehalte wurde eine Nitratverlagerungsgeschwindigkeit berechnet. Somit konnte prognostiziert werden, dass ein vollständiger Nitratdurchbruch an den Brunnen der Galerie Holsterhausen in mehreren hundert Jahren erwartet wird. Weiterhin wurde mit den vorhandenen Sedimenten ein Kreislaufsäulenversuch durchgeführt, bei dem eine Nitratreduktion nachgestellt wurde, um das Abbauvermögen des Grundwasserleiters zu bestimmen. Dabei wurde eine organotrophe Nitratreduktion als dominierender Prozess festgestellt, der mit PHREEQC nachmodelliert werden konnte.

P 13.4

N₂ArCheck – Ein Tool zur Auswertung und Qualitätssicherung von Ergebnissen der N₂/Ar-Methode

Jens Gröger-Trampe¹, Sabine Heumann¹

¹ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

Kontakt: jens.groeger-trampe@lbeg.niedersachsen.de

Die N₂/Ar-Methode (z.B. Vogel et al., 1981) ist ein wertvolles Werkzeug zur Bestimmung des Nitratreintrags in Grundwasserleiter, in denen bereits ein partieller oder vollständiger Nitratabbau stattgefunden hat. Durch die Messung der Konzentrationen von gelöstem molekularem Stickstoff (N₂) und Argon kann der aus dem Nitratabbau stammende N₂-Anteil (N₂-Exzess) quantifiziert werden. Vor dem Hintergrund hoher Nitratreinträge gewinnt die Methode zunehmend an Bedeutung für die wasserwirtschaftliche Praxis und die Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz (vgl. Rüppel et al., 2012).

Die Anwendung der N₂/Ar-Methode warf in der Vergangenheit immer wieder Fragen und Probleme auf. Mit dem Beginn einer Reihe von laborübergreifenden Vergleichsuntersuchungen, die in Kooperation mit dem NLWKN durchgeführt wurden, entwickelte das LBEG deshalb das MS Excel-basierte Tool „N₂ArCheck“ zur Auswertung und Qualitätssicherung von N₂-Exzess-Daten für Labore und Anwender/innen. Als Basis des Tools dienen Daten zu Gasgleichgewichten (Weiss, 1970) und Modelle zu Entgasungsvorgängen, über die eine Plausibilitätskontrolle realisiert wird und sich auch weitere Prozesse im Grundwasserleiter ableiten lassen. Das Tool umfasst die Prüfung der Daten, Definition von Ausgabe- bzw. Bewertungsgrenzen sowie die Visualisierung der Ergebnisse. Ferner unterstützt das Tool bei der Ableitung weiterführender Aussagen zu Entgasungsprozessen. Hierzu werden Hinweise auf Entgasungserscheinungen gegeben und deren mögliche Ursache bewertet. Bei Anzeichen, die auf eine deutliche Denitrifikation hinweisen, bei denen die N₂-Exzess-Ergebnisse jedoch wegen starker Entgasungserscheinungen nicht bewertbar sind, werden die Ergebnisse gekennzeichnet, um diese wichtige Information für den/die Anwender/in nutzbar zu machen. Das Tool ermöglicht somit sowohl Laboren als auch den Anwendern/innen eine umfassende Beurteilung von N₂/Ar-Analysenergebnissen.

Literatur

Rüppel, C., Eschenbach, W. & Meyer, K. (2012): Messung des Exzess-N₂ im Grundwasser mit der N₂/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. NLWKN Reihe Grundwasser, Band 15

Vogel, J.C., Talma, A.S. & Heaton, T.H.E. (1981): Gaseous nitrogen as evidence for denitrification in groundwater, J. Hydr., 50, 191-200

Weiss (1970): The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. Deep-Sea Research, 1970, Vol. 17, pp. 721 to 735

P 13.5

Monte Carlo simulations as a tool to interpret stable isotope analyses of nitrate in groundwater of a complex porous aquifer system

Lisa Wild¹, Arno Rein¹, Florian Einsiedl¹

¹ Technische Universität München, Chair of Hydrogeology, Arcisstr. 21, 80333 Munich, Germany

Kontakt: lisa.wild@tum.de

Stable isotopes of nitrate have been proven to be a useful tool to determine denitrification processes in groundwater systems. However, isotope exchange reactions between water oxygen and nitrogen intermediates that are formed during the denitrification pathway, hydrodynamic processes along flow paths (transport, dispersion) as well as mixing of different nitrate sources can alter the isotope signature. Based on the isotopic signature of nitrate it is often unclear if denitrification or simple mixing processes of different nitrate sources have led to the observed isotopic shift of nitrate in groundwater.

Here we measured $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of nitrate in a heterogeneous porous groundwater system in lower Bavaria, Germany, and performed probabilistic analyses by applying Monte Carlo simulations on the isotope data of nitrate. We want to clarify the open question to which extent theoretical assumptions of (i) mixing of different nitrate sources in the catchment, (ii) hydrodynamic processes, and (iii) microbial denitrification with different stable isotope enrichment factors have contributed to the isotopic signal of nitrate in the investigated area.

Therefore, in different scenarios, Monte Carlo simulations and analytical groundwater modelling were carried out with a data set from a complex porous aquifer to approach these questions. To clarify this, the isotope enrichment factors of nitrate were varied and it was determined to which probability and after which possible mean transit time denitrification processes could be clearly identified in groundwater.

P 13.6

Ermittlung der Ursachen von Schwellenwertüberschreitungen von Ammonium (und Begleitparametern) im oberflächennahen Grundwasser unter Berücksichtigung des landwirtschaftlichen Einflusses und Abgrenzung von geogenen und anderen Quellen in NRW

Nina Wurth¹, Frank Wisotzky¹, Sabine Bergmann²

¹ RUB

² LANUV

Kontakt: nina.wurth@rub.de

Die Arbeit basiert auf Daten des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW.

In bestimmten Gebieten in NRW liegen schwellenwertwertüberschreitende Ammoniumkonzentrationen (0,5 mg/l) im Grundwasserleiter vor. Diese sind zum einen geogen bedingt, zum anderen sind vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten signifikante Überschreitungen festzustellen. In der Masterarbeit sollen diese Standorte chemisch charakterisiert und die Wirkungsprozesse sowie die Ursachen ermittelt werden.

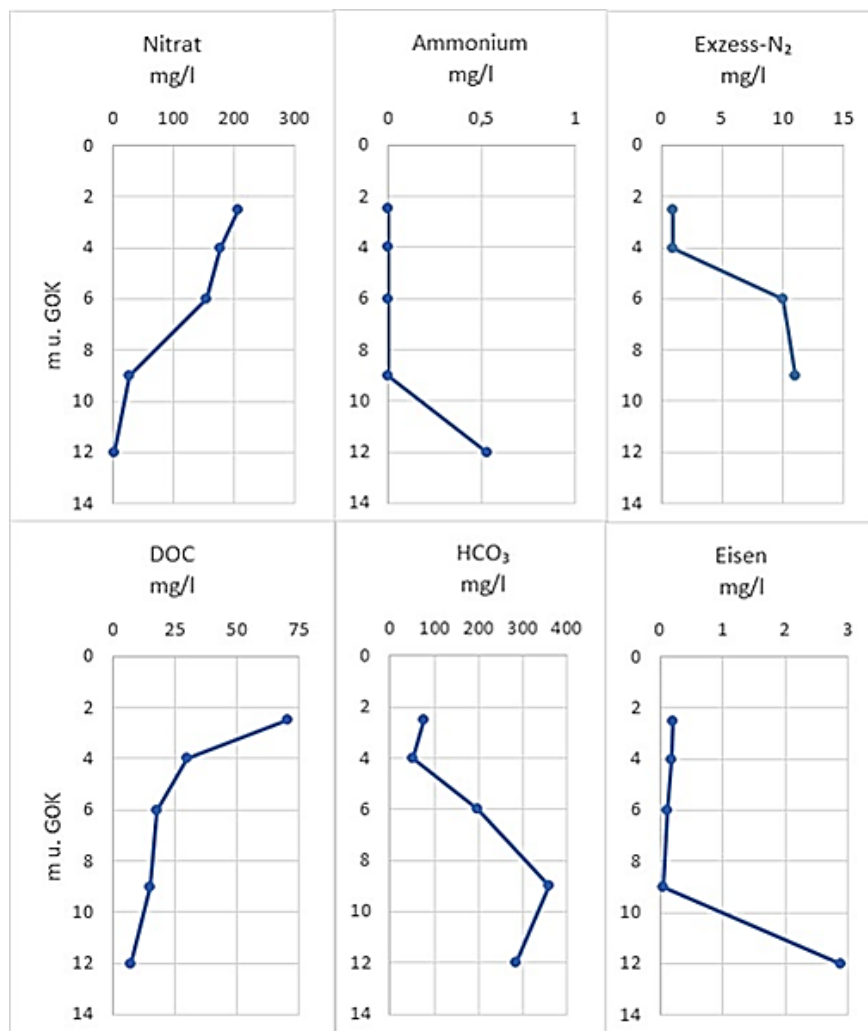
Die Daten aus den Jahren 2014 bis 2016 von NRW werden statistisch mit dem Programm SPSS von IBM ausgewertet (u.a. Varianzanalyse zu den Einflussfaktoren, Korrelation versch. Parameter). Es werden drei belastete Grundwasserkörper (GWK) ausgewählt. Je GWK werden zwei signifikante Messstellen (MST) einer Detailbetrachtung unterzogen und mit Einflussfaktoren in der Umgebung verglichen. Zwei Multilevel-Messstellen werden zur Analyse der Verlagerung und Prozesse im Tiefenprofil genutzt. Ergebnisse der N_2/Ar -Methode werden zur Bestimmung der Denitrifikation verwendet.

Die vorläufigen Ergebnisse zeigen bei den Korrelationstests keine Überraschungen. Stoffe aus der Düngung, bspw. ortho-Phosphat-Phosphor und Chlorid, korrelieren (bis auf Nitrat) positiv mit Ammonium. Ebenso redoxensitive

Stoffe, insbesondere Arsen. Die Messwerte sämtlicher MST (Anzahl = 3611) wurden differenziert nach der Landnutzung ausgewertet und einer Varianzanalyse unterzogen. Neben Siedlungsflächen-beeinflussten MST sind hinsichtlich der NH_4 -Konzentrationen auch Acker-beeinflusste MST signifikant erhöht, verglichen mit Wald-beeinflussten MST.

Die zur weiteren Auswertung ausgewählten MST überschreiten alle den NH_4 -Schwellenwert. Der Einzugsbereich ist Acker. Der Boden ist bei allen MST sandig und kiesig, sodass die Deckschichten als ungünstig eingestuft sind. Sandböden haben eine geringe Sorptionskraft, sodass bei geringem Grundwasserflurabstand theoretisch auch ein Direkteintrag des NH_4 möglich wäre. Die Austauschrate des Bodenwassers ist hoch bis sehr hoch und die mittleren Flurabstände liegen zw. 1,16 bis 1,65 m (min. Abstände zeitw. <30 cm). In allen MST kann Denitrifikation nachgewiesen werden. Ebenso ist Arsen in allen MST vorhanden. In zwei MST überschreitet es den Schwellenwert. Cadmium scheint hingegen nicht zu interagieren.

An einer Multilevel-Messstelle kann deutlich gezeigt werden, dass NH_4 auf den anthropogenen Stickstoffeintrag zurückzuführen ist und nicht geogen zu erklären ist. Es wird an diesem Standort nicht als NH_4 verlagert, sondern stammt aus einem sehr hohen Eintrag org. Düngemittel (hohe NH_4 - und DOC-Konzentration oben). Ab 12 m Tiefe tritt NH_4 auf, bedingt durch eine im reduzierenden Milieu ab 10-12 m Tiefe stattfindende Nitratreduktion oder ggf. Nitratassimilation. Oberhalb findet bei gleichzeitig vorhandenem hohem DOC-Eintrag eine organotrophe Denitrifikation (HCO_3 -Freisetzung) statt.



Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen

Georg Berthold¹, Bernd Leßmann¹, Harald Rückert¹, Christoph Kludt¹

¹ Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

Kontakt: Christoph.Kludt@hlnug.hessen.de

Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) trat am 22.12.2000 in Kraft, um eine koordinierte Bewirtschaftung über Staats- und Ländergrenzen hinweg umzusetzen und einen guten mengenmäßigen und chemischen Grundwasserzustand einzuhalten oder zu erreichen. Die Umsetzung der WRRL in Hessen erfolgt in einzelnen, aufeinander aufbauenden Schritten.

Zur Charakterisierung und Beschreibung des Grundwassersystems wurden Grundwasserkörper (GWK) durch Verschneidung hydrogeologischer Teilräume mit hydrologischen Einzugsgebieten abgegrenzt. Insgesamt ergeben sich hieraus 128 GWK in Hessen.

Die Berichterstattung über den chemischen Zustand erfolgt durch operativen Messstellen (in belasteten GWK) und Überblicksmessstellen (in unbelasteten GWK). Der chemische Zustand wird durch sog. Qualitätsnormen und Schwellenwerte, die auf Grundlage der Grundwasserrichtlinie (Richtlinie 2006/118/EG) festgelegt und mit der Grundwasserverordnung (GrwVO) in nationales Recht umgesetzt wurden, bewertet. Bei Einhaltung dieser Werte ist der GWK in einem guten chemischen Zustand.

Von den o. g. GWK in Hessen befinden sich 25 in einem schlechten chemischen Zustand. 19 aufgrund der Nitratbelastungen, darunter acht wegen gleichzeitiger Überschreitungen der Qualitätsnormen für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe. Aufgrund der Salzabwasserversenkung befinden sich zudem sieben GWK in einem schlechten Zustand.

Zur Herstellung eines guten Zustands und zum Schutz vor schädlichen Veränderungen (Verschlechterungsverbot) werden verschiedene Maßnahmen angewandt. Ende 2015 wurde das 2. Maßnahmenprogramm aufgestellt (<http://flussgebiete.hessen.de/>). Dieses ist als zentrales Instrument wasserwirtschaftlichen Handelns zu verstehen und dient darüber hinaus der Berichterstattung gegenüber der Europäischen Kommission.

In Hessen wird eine grundwasserschutzorientierte landwirtschaftliche Beratung mit Schwerpunkt auf einer Reduktion des Stickstoffeinsatzes umgesetzt. Hierzu wurden aufgrund der Belastung des Grundwassers und dem Belastungspotenzial (abhängig von Bodenbeschaffenheit und Landbewirtschaftung) Maßnahmenräume auf Gemarkungsebene abgegrenzt. Die Maßnahmenpriorität leitet sich direkt aus dem Bewertungsindex ab und steuert die Intensität der Beratung, von einer allgemeinen grundwasserschonenden Grundberatung bis hin zu einer einzelbetrieblichen Intensivberatung. Die Zusammenarbeit beruht auf dem Prinzip der Freiwilligkeit. Derzeit sind rd. zwei Drittel der betroffenen hessischen Landwirte beteiligt.

Mit der am 02.06.2017 in Kraft getretene Düngeverordnung (DüV) besteht nun die Verpflichtung Maßnahmen zur Erreichung der Ziele der EG-Nitratrichtlinie umzusetzen. Damit ist ein eindeutiger Bezug zur Grundwasserverordnung gewährleistet, ausreichend Rechtssicherheit und eine einheitliche bundesweite Basis gegeben. Es kristallisieren sich einige Maßnahmen heraus, aber es ist auch absehbar, dass es keine einheitliche Anwendung der Maßnahmen in den Ländern geben wird.

14 Güte und Bewertung von Grundwassermodellen

Vorträge

O 14.1: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 15:45-16:00

Praxisbezogene Bewertung der Güte und Prognosefähigkeit von GW-Modellen

Johannes Riegger¹

¹ Arbeitskreis "Kalibration und Prognosefähigkeit von GW-Modellen" der FH-DGGV

Kontakt: riegger@iws.uni-stuttgart.de

Grundwassermodelle sind ein wichtiges Werkzeug bei wasserrechtlichen Fragestellungen wie die Festlegung von Schutzgebieten, Dimensionierung von Wasserhaltungen oder die Bestimmung der Auswirkungen von Baumaßnahmen auf das GW-Regime sowie bei der Stoffausbreitung im Untergrund, auch im Zusammenhang mit GW-Schadensfällen und -Sanierungsmaßnahmen. Dabei bestehen von Seiten der Auftraggeber, Behörden und der Öffentlichkeit hohe Erwartungen und qualitative Anforderungen an die Aussagefähigkeit solcher Modelle. Diesen Erwartungen steht eine komplexe Natur gegenüber, für die selbst mit hohem Erkundungsaufwand häufig nur eine verhältnismäßig geringe Informationsdichte für eine quantitative Beschreibung zur Verfügung steht. Der Arbeitskreis "Kalibration und Prognosefähigkeit von GW-Modellen" hat sich deshalb vorgenommen, praxisbezogene, quantitative Bewertungskriterien für die Güte von GW-Modellen zu entwickeln.

Die in der Praxis oft verwendeten Scatterplots oder Fehlerquadrate können kein Maßstab für die Qualität eines GW-Modells sein, da sie – alleine genommen - keine Aussagen über die Repräsentativität der Messungen, die Eindeutigkeit der gewählten Parameter und die Richtigkeit der gewählten Randbedingungen machen und darüber hinaus natürliche Variabilitäten nicht berücksichtigen. Für eine adäquate Beschreibung des GW-Systems und für eine fundierte Prognose ist zu allererst die Qualität des Hydrogeologischen Modells (HGM) mit seiner Ansprache der Schichtlagerung und -kopplung, der hydraulischen Randbedingungen, der maßgeblichen Volumenströme etc. verantwortlich.

Die Qualität des HGMs wird dabei maßgeblich von der Relevanz der im Hinblick auf die geplante Modellawendung anzusprechenden hydrogeologischen Daten sowie durch die vorliegende Datensituation bestimmt. Die Datenlage wiederum muss für sich genommen beschrieben werden durch die Aspekte Datendichte und Daten-Repräsentativität. Damit ergeben sich für eine quantitative Bewertung des HGM hochkomplexe Zusammenhänge.

Für eine praxisgerechte Anwendbarkeit muss deshalb die Bewertung des HGMs vereinfacht werden. Zu diesem Zweck werden sowohl für die hydrogeologische Relevanz als auch für die Datensituation Klassen eingeführt. Die Kombination von Relevanz und Datensituation erfolgt über einen Matrixansatz. Als Ergebnis ergibt sich damit eine Maßzahl, die eine Einordnung des bewerteten Modells in die Modellkategorien Prinzip-, Planungs- oder Bewirtschaftungsmodell im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes W 107 „Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten“ ermöglicht.

In diesem Beitrag werden die Überlegungen für ein praxisgerechtes Bewertungssystem vorgestellt und die Struktur der vom Arbeitskreis dazu entwickelten Excel-Tabelle erklärt.

Gütebewertung eines hydrogeologischen Modells für ein tiefes Grundwassersystem am Beispiel des überdeckten Sandsteinkeupers in Mittelfranken

Bernd Hanauer¹

¹ HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH

Kontakt: bernd.hanauer@buero-hg.de

Am Beispiel des regionalen Grundwassermodells für den Sandsteinkeuper im südlichen Mittelfranken wird die Anwendbarkeit des vom Arbeitskreis erarbeiteten Bewertungsschemas für ein hydrogeologisches Modell (HGM) dargestellt. Unter Berücksichtigung der Problemrelevanz werden an diesem konkreten Beispiel die Daten- und Aussagequalität des Hydrogeologischen a priori-Wissens sowie die Datenlage zu Schichtgeometrie und –verbreitung, geohydraulischen Parametern, Messwerten und Versuchsdaten, hydraulischen Randbedingungen und Quellen und Senken nachvollziehbar bewertet. Dies erfolgt mittels einer entsprechenden Excel-Tabelle, wobei in der resultierende HGM-Bewertung zwischen dem Modellgebiet (global) und dem Aussagegebiet (lokal) unterschieden wird.

Das Modellgebiet ist nach regionalhydrogeologischen Kriterien abgegrenzt und etwa 11.000 km² groß. Aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten und der Aufgabenstellung (Ermittlung des gewinnbaren GwDargebotes für die regionale TwVersorgung vor dem Hintergrund fallender GwStände) sind das Aussagegebiet und die Erkundungs- und Messdaten auf das nordwestliche Drittel des Modellgebietes konzentriert. Die Anfangsbedingungen können aufgrund fehlender Messungen nur abgeschätzt werden.

Die resultierende Gesamtgüte des HGM drückt sich für das Modellgebiet und für das Aussagegebiet dementsprechend in unterschiedlichen Prozentangaben aus. Auf dieser Grundlage wird dargestellt, welche Schlussfolgerungen sich aus diesem Resultat hinsichtlich der Einstufung des Grundwassermodells als Prinzip-, Planungs- oder Bewirtschaftungsmodell im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes W 107 „Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten“ ergeben.

Anhand dieses Beispiels für den überdeckten Sandsteinkeuper in Mittelfranken wird, unter Berücksichtigung der Problemrelevanz und des Relevanzgewichtes, objektiv nachvollzogen, wie die Modellgüte von der Datenlage abhängt. Ausgehend von diesem Resultat wird dargestellt, ob und wie die Güte des HGM durch die Veränderung der Datenlage verbessert werden kann, bzw. welche objektiven Grenzen diesbezüglich bestehen.

Modellanwendung in unterschiedlichen Skalen und Bewertung der Modellergebnisse am Beispiel des Grundwasserleitersystems der Heil- und Mineralquellen von Stuttgart

Ulrich Lang¹, Wolfgang Ufrecht²

¹ Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH

² Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart

Kontakt: lang@kobus-partner.com

Die Heil- und Mineralquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg werden von einem überregionalen Grundwasserleitersystem gespeist. Die Innen- und Kernzone des Heilquellenschutzgebiets liegt im dicht besiedelten Innenstadtgebiet von Stuttgart, in dem zahlreiche Nutzungen, bauliche Eingriffe und auch Wirkungen aus der Vergangenheit wie Altlasten (Kirchholtes et al. 2015) bestehen. Diese sind hinsichtlich möglicher Auswirkungen auf die Heil- und Mineralquellen zu beurteilen. Ein adäquates und für die zahlreichen Fragestellungen mögliches Instrument zur Beurteilung sind numerische Modelle, mit denen Prognosen durchgeführt werden können. Da eine systematische Bewertung der Prognosefähigkeit von Modellen fehlt, wurden im AK Kalibrierung und Prognose eine Bewertungsmatrix für Hydrogeologische Modelle entwickelt, die auf diese Modelle angewendet wird.

Als Basis dieser Grundwassermodellbetrachtungen wurden vom Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart Hydrogeologische Modelle für unterschiedliche Raumskalen und Fragestellungen entwickelt. Basierend auf diesen umfangreichen hydrogeologischen Auswertungen wurde ein überregionales Grundwassermodell für den Muschelkalkaquifer und das unterlagernde Tiefe System sowie ein lokales dreidimensionales Modell für den direkten Zustrom der Mineralquellen mit den oberflächennahen Grundwasserleitern erstellt.

Die vielschichtige Modellanwendung hat gezeigt, dass die Güte des numerischen Modells direkt gekoppelt ist mit den erarbeiteten hydrogeologischen Modellen, die nicht nur geometrische hydraulische Informationen wie Schichtlage- rung oder Piezometerhöhen enthält, sondern als wesentliche Schwerpunkte hydro- und isotopenchemische Auswer- tungen sowie daraus abgeleitete Strömungs- und Transportinformationen. Anhand der Modellergebnisse kann aufge- zeigt werden, dass die ganzheitliche Betrachtung von Strömungs- und Transportinformationen dazu führen, dass die Prognosefähigkeit der Modelle wächst. In den numerischen Modellen ergeben sich konsistente Interpretationen der stationären, instationären, lokalen und überregionalen Grundwasserströmung, der Herkunft von mineralisiertem Grundwasser, der Wirkung von Störungssystemen, dem Grundwasseralter sowie dem Transport von Wasserinhalts- stoffen. Mit Hilfe des Modells wurde die Größenordnung der vertikalen Aufstiege aus dem Tiefen Aquifersystem bestimmt, die die Mineralisierung der Heilquellen bewirken. Außerdem konnte mit der seit knapp zwei Jahrzehnten andauernden Modellfortentwicklung die Einzugsgebietsabgrenzung konkretisiert und so das bestehende Heilquellen- schutzgebiet bestätigt werden. In der lokalen Modellbetrachtung konnte die Prognosefähigkeit durch aktuelle Bau- maßnahmen überprüft und ebenfalls bestätigt werden. Abgerundet wird das hydrogeologische und numerische Mo- dellbild durch paläohydrologische Betrachtungen, wie z.B. die fluss- und landschaftsgeschichtliche Entwicklung im Modellraum während der letzten 500.000 Jahre.

Literatur

Kirchholtes, H.J., Ufrect, W., Carle, A., Ertel, T., Lang, U., Schäfer, W., Schweizer, U., Schollenberger, U., Spitzberg, S. & Vasin, S., (2015): Chlorierte Kohlenwasserstoffe im Grundwasser: Untersuchungsmethoden, Modelle und ein Managementplan für Stuttgart. Springer Vieweg, Wiesbaden. Herausgeber: Kirchholtes, H.J., Ufrect, W.

O 14.4: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 16:30-16:45

Grundwasser-Management mit tiefreichenden Dichtwänden

Thomas Reimann¹, Rudolf Liedl¹, Peter-Wolfgang Gräber¹, Jinxing Guo¹, Stefan Fisch²

¹ TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, TU Dresden

² Lausitz Energie Bergbau AG (LEAG)

Kontakt: Thomas.Reimann@tu-dresden.de

Der Betrieb von aktiven Tagebauen erfordert Eingriffe in den Grundwasserhaushalt wie zum Beispiel die Absenkung des natürlichen Wasserspiegels. Um den Einfluss dieser Eingriffe möglichst gering zu halten und damit den Tagebau effizient und soweit möglich naturverträglich zu gestalten, werden im Lausitzer Braunkohle-Revier unterirdische Dichtwände errichtet. Diese Dichtwände basieren auf der Schlitzwandtechnologie. Dazu wird mittels spezieller Tiefbautechnik ein Schlitz gefräst, der anschließend mit einer Tonsuspension gefüllt wird. Diese Tonsuspension dringt in das umgebende Lockergestein ein und führt aufgrund von Kolmation dazu, dass sich ein sogenannter Filterkuchen bildet. Die hydraulische Leitfähigkeit dieses, mehrere Zentimeter mächtigen Filterkuchens liegt im Bereich von circa $1 \times 10^{-11} \text{ ms}^{-1}$, wodurch sich die resultierende horizontale hydraulische Leitfähigkeit im Bereich der Dichtwand sehr wirkungsvoll reduziert. In der Folge wird der Zustrom von Grundwasser in den aktiven Tagebau abgesperrt. Die Dichtwand-Technologie wurde in den letzten Jahren beständig weiterentwickelt und ausgebaut, so dass aktuell Dichtwände bis in eine Tiefe von $> 100 \text{ m}$ unter GOK und einer Länge von mehreren Kilometern existieren (VEM 2014).

Aus hydraulischer Sicht stellen die Dichtwände Diskontinuitäten dar, aus denen sich anspruchsvolle Fragestellungen ergeben. Über räumlich sehr kleine Distanzen variiert die effektive hydraulische Leitfähigkeit zwischen Dichtwand und umgebendem Lockergestein um mehrere Zehnerpotenzen. Zudem sind sehr starke hydraulische Gradienten von $> 60 \text{ m}$ Druckhöhendifferenz pro m zu verzeichnen. Aus diesen Gründen sind existierende analytische Gleichungen,

welche auf den Dupuit-Annahmen für horizontal-ebene Grundwasserströmung basieren, nicht geeignet, die dreidimensionale Hydraulik im Umfeld dieser Dichtwände zu beschreiben.

Der Beitrag gibt einen Überblick zum aktuellen Stand der Dichtwandtechnologie im Lausitzer Revier und zeigt, mit welchen numerischen Methoden die Hydraulik im Umfeld einer Dichtwand berechnet werden kann. Dazu wurde eine existierende, auf dem Finite-Volumen-Modell MODFLOW basierende Software zur numerischen Simulation der Grundwasserströmung modifiziert und mit analytischen Lösungen sowie Vergleichsrechnungen evaluiert. Mit Hilfe der numerischen Modelle kann die Hydraulik im Umfeld der Dichtwände für verschiedene Fragestellungen untersucht werden, z. B. resultierende Geschwindigkeiten bei Um- und Unterströmung der Dichtwand. Es wird deutlich, dass nur 3-D numerische Modelle in der Lage sind, diese spezielle hydraulische Situation korrekt wiederzugeben.

Literatur

Vattenfall Europe Mining (2014): Wasserbalance – Dichtwandtechnik im Lausitzer Braunkohlenbergbau. 16 Seiten, Cottbus 2014.

O 14.5: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 16:45-17:00

Erfahrungen aus der langfristigen Verifizierung eines regionalen Grundwasserströmungsmodells zur Prognose der Flutung eines ehemaligen Uranbergwerkes

Thomas Metschies¹, Martin Becker²

¹ Abt. Bergbausanierung/Geotechnik, Wismut GmbH

² delta h Ingenieurgesellschaft, Witten

Kontakt: t.metschies@wismut.de

Die Flutung eines untertägigen Laugungsbergwerkes in einem regionalen Grundwasserleitersystem stellt hinsichtlich der gewählten Sanierungslösung besondere Anforderungen in Hinblick auf die Minimierung der Umweltauswirkungen. Damit sind für die technische Planung sowie die Genehmigung der notwendigen Maßnahmen detaillierte Prognosen der regionalen hydraulischen Entwicklung, der Schadstofffreisetzung sowie des Schadstofftransportes notwendig.

Am Beispiel des ehemaligen Uranbergwerkes in Königstein (Sachsen) werden die Erfahrungen bei Aufbau, Parametrisierung, Kalibrierung und Verifizierung eines regionalen Strömungsmodells mit hinreichender Beschreibung der Einstaubedingungen in der Grube selbst dargestellt. Das vor Beginn der Teilflutung der Grube im Jahr 2001 mit dem Programm SPRING erstellte regionale Strömungsmodell wurde für die Prognose einzelner Flutungsstadien verwendet. Mit den Ergebnissen der Überwachung des Flutungsverlaufes wird das Modell bis heute fortwährend weiter angepasst, wobei sich die Betrachtungsschwerpunkte über den Flutungsverlauf aus unterschiedlichen Gründen kontinuierlich verschoben haben.

Die bei der Modellentwicklung sowie während der Nutzung des Modelles gewonnenen Erfahrungen beim Aufbau und der Anpassung eines derartig komplexen Grundwasserströmungsmodells werden dargestellt. Einen Schwerpunkt bilden dabei die bei der Beschreibung der Flutung der Grube selbst gesammelten Erkenntnisse hinsichtlich des einstaubaren Porenvolumens und dessen zeitlichen Aufsättigungsverlaufes sowie der Anpassung einzelner hydraulischer Elemente.

Im Ergebnis der durchgeführten Arbeiten lässt sich feststellen, dass ein regionales Strömungsmodell ein sehr gut geeignetes Werkzeug für die Prognose von Grubenflutungen darstellt, sofern die wesentlichen Einstauprozesse adäquat im Modell beschrieben werden. Jedoch sind eine langfristige Fortschreibung des Modellansatzes und eine ständige Anpassung des Strömungsmodells bei derart dynamischen Prozessen wie einer Grubenflutung insbesondere unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit den umgebenden Grundwasserleitern unumgänglich. Einzelne Teilaspekte der Modellanpassung ergeben sich dabei jeweils in Abhängigkeit von dem erreichten Flutungsstand. Die Beschreibung des komplexen Einstauverhaltens auf den bei der Grubenflutung relevanten unterschiedlichen Maßstabsebenen bedarf neben Vereinfachungen auch fortlaufend einer Überprüfung der konzeptionellen Modellansätze und den hierfür erforderlichen modelltechnischen Umsetzungen insbesondere vor dem Hintergrund einer stets belastbaren Prognosefähigkeit. Die mit dem Strömungsmodell prognostizierte lange Zeitdauer des Aufgehens der GW-Spiegel im Umfeld der Grube konnte inzwischen durch Messungen bestätigt werden.

O 14.6: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 17:00-17:15

Wochen-, Monats- und Jahreszeitemvorhersage von Grundwasserständen mit künstlichen neuronalen Netzen

Stefan Broda¹, Andreas Wunsch², Tanja Liesch², Jörg Reichling¹

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

² Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: stefan.broda@bgr.de

Die Qualität und Zuverlässigkeit der Modellierung und Vorhersage von Grundwasserständen mittels physikalisch-basierter numerischer Grundwasserströmungsmodelle hängen stark von der Verfügbarkeit von Felddaten für die Modellparametrisierung ab. Insbesondere bei (über)regionalen Studien scheitern diese Modelle oft wegen fehlender oder unvollständiger Informationen, beispielsweise hinsichtlich der räumlichen Ausdehnung der einzelnen geologischen Formationen und ihrer hydraulischen Eigenschaften. Ansätze, die auf künstlicher Intelligenz beruhen, wie künstliche neuronale Netze, sind eine vielversprechende Alternative, da sie die Fragestellung auf eine einfache Input-Output-Beziehung reduzieren, während Beschreibungen des physikalischen Prozesses entfallen.

Eine zuverlässige Vorhersage des Grundwasserspiegels ist unabdingbar für die die Ableitung von Wasserverfügbarkeits- und Bewässerungsanforderungen in der Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft, der Abgrenzung möglicher Landsenkungszonen durch extrem niedrige Grundwasserstände im Zusammenhang mit Dürre und/oder Grundwasserförderung, der Abgrenzung potenzieller Gebiete von Grundwasserhöchstständen für Verkehrsinfrastruktur, Gebäude und landwirtschaftlichen Nutzflächen und die Entwicklung geeigneter Vermeidungs- und Anpassungsstrategien.

In diesem Beitrag wird die Verwendbarkeit verschiedener neuronaler Netzwerktypen (feedforward und rekurrente neuronale Netze, mit und ohne vorgeschalteter Wavelet-Transformation des Eingangsdatensatzes) an Pegeln im Fest- und Lockergestein evaluiert. Die von anthropogen unbeeinflussten Pegel zeichnen sich durch langjährige und vollständige Zeitreihen aus. Wöchentliche, monatliche und saisonale Vorhersagen des Grundwasserspiegels wurden über einen Zeitraum von mehreren Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass rekurrente neuronale Netze (nichtlineare autoregressive Netze mit exogenem Input - NARX) höchst robust arbeiten mit relativen Fehlern kleiner 0,06 m und Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,84-0,98. Vorgeschaltete Wavelet-Transformationen verbessern die Ergebnisse der Feedforward-Netzwerke deutlich, jedoch nicht die mit den NARX berechneten Grundwasserständen.

Zusätzlich wird die Auswahl der Piezometer als Referenzmessstellen zur Darstellung der allgemeinen Strömungsdynamik im jeweiligen Aquifer diskutiert.

O 14.7: Vortragsreihe 2, 22.03.2018, 17:15-17:30

Hybride physikalische und datengetriebene Grundwassermodelle zur Reduzierung der Modellunsicherheit in Echtzeitvorhersagesystemen

Alexander Renz¹, Johanna Zwinger², Patrick Keilholz³, Giovanni Firmani⁴, Robin Marc Dufour⁵

¹ DHI WASY GmbH

² TU München

³ DHI WASY

⁴ DHI Australien

⁵ DHI Peru

Kontakt: are@dhigroup.com

Datenbasierte Modelle haben in der jüngeren Vergangenheit zunehmende Verbreitung gefunden. Nicht zuletzt ist dies auf die Erfolge mit neuronalen Netzwerken zurückzuführen, welche sich in nur kurzer Zeit zu einer Standardanwendung im Ingenieurwesen entwickelt haben. Anwendungen in der Umweltströmungsmechanik konnten bereits zeigen, dass Datenmodelle regelmäßig eine im Vergleich zu physikalischen Modellen höhere Genauigkeit erreichen. Gleich-

zeitig ermöglichen diese Methoden aufgrund ihres deutlich kleineren Rechenaufwandes Anwendungen für Steuerungs- und Überwachungssysteme, welche eine Modellierung in Echtzeit erfordern.

Kritik an der Methode wird von Seiten der klassischen Umweltströmungsmechanik geübt. Die Zuverlässigkeit von Datenmodellen hängt nicht nur vom Umfang, sondern auch von der Repräsentativität und Güte des eingesetzten Trainingsdatensatzes ab. Defizite sind hier oft nicht sofort erkennbar, was zu einem unvorhergesehenen Versagen des Modells führen kann. Dies lässt den Schluss zu, dass physikalische Modelle zwar insgesamt weniger genau, dafür aber verlässlicher sind. Insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen wie Hangsicherheitsberechnungen im Bergbau sind Datenmodelle daher problematisch.

Als Konsequenz dieser Diskussion werden datengetriebene und physikalische Modelle meist als alternative, konkurrierende Ansätze wahrgenommen. Bei einer direkten Gegenüberstellung beider Methoden kann dabei gezeigt werden, dass sie sich weitestgehend komplementär Verhalten, die Schwächen des einen Ansatzes also den Stärken des anderen entspricht, und umgekehrt.

Dieser Beitrag soll hingegen Wege aufzeigen, wie beide Ansätze zusammengeführt werden können, wobei die die Schwächen der jeweils anderen Methode kompensiert werden.

Gezeigt wird dies am Anwendungsbeispiel eines für den Bergbau und das Grundwassermanagement entwickelten Grundwasserüberwachungssystems. Dieses verwendet Telemetrie- und SCADA-Systeme zur kontinuierlichen Erfassung von Messdaten. Mittels dieser Daten werden Datenmodelle trainiert, welche die Messwerte plausibilisieren, Messlücken schließen und kurzfristige Vorhersagen treffen. Die so erhaltenen Ergebnisse werden im Anschluss mit denen eines physikalischen (hier numerischen) Grundwassermodells verschmolzen.

Auf diese Weise wird basierend auf beiden Datenquellen auf einen Systemzustand (z.B. Wasserspiegellage, Wasserqualität, Porenwasserdruck) geschlossen, welcher unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Datenquellen dem besten Wissen entspricht. Dieser zeichnet sich durch eine exakte Wiedergabe der gemessenen Pegel, als auch durch eine physikalisch plausible Verteilung aus.

Da diese Berechnung in Echtzeit erfolgt, informiert die Software angeschlossene Nutzer kontinuierlich über verschiedene Schnittstellen (Web-portal, mobile Endgeräte) über relevante Änderungen.

Literatur

Allegro, M. (2006): What does it mean? – In: Turm, P., Bauer, B. & Läufer, R. (eds.): Guess what. Springer, 16-44; Hintertux.

Rusitzka, E. & Jubitz, K.-B. (1968): Trias. – In: Grundriß der Geologie der DDR, Bd. 1: 268-89; Berlin.

Wolburg, J. (1969): Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk und Keuper Entwicklung Nordwest Deutschlands, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. – Geotekt. Forsch., 32: 1-65; Stuttgart.

Poster

P 14.1

Eine kritische Betrachtung zu empirischen Porositätsschätzungen auf Basis granulometrischer Untersuchungen als Datenbasis für geohydraulische Berechnungen

Sven Fuchs¹, Ziesche Michael², Nillert Peter³

¹ GFZ Potsdam, Geothermische Energiesysteme

² GCI GmbH

³ BRUNI PLAN Dr. Peter Nillert

Kontakt: fuchs@gfz-potsdam.de

Die Aussagekraft geohydraulischer Berechnungen hängt direkt von der genauen Kenntnis der hydraulischen Gesteinseigenschaften und deren Verteilung im Untergrund ab. Der Porenraum eines Lockergesteins bestimmt mit seinen unterschiedlich wirkenden Anteilen maßgeblich die wirksamen Grundwasserströmungsprozesse. Zur analytischen oder modellgestützten Bestimmung von Porositätskennwerten werden regelmäßig empirisch bestimmte Zusammenhänge aus Korngrößendaten und daraus abgeleiteten Kennwerten als schnelle und günstige Alternative zu aufwendigen

gen Labormessungen genutzt. Den im deutschsprachigen Raum angewandten empirischen Verfahren zur Schätzung verschiedener Porositätsgrößen aus Ungleichkörnigkeit oder Durchlässigkeitsbeiwert kommt hierbei besondere Bedeutung für die Qualität von Grundwassermodellen zu. Wir (i) präsentieren unseren Kenntnis- und Recherchezustand zu häufig verwendeten Verfahren, (ii) betrachten diese kritisch hinsichtlich der Quellen- und Datenlage, und (iii) bewerten die Verfahren bezüglich ihrer Anwendbarkeit auf Messdaten tertiärer und quartärer Lockergesteine Norddeutschlands sowie von Filterkornschüttgütern. Es zeigt sich, dass eine Schätzung des Gesamtporenraums allein auf Basis der Korngrößenunabhängigen Ungleichkörnigkeitszahl für Korngemische wenig brauchbar ist, solange nicht auch die Korngrößen und ebenso die Lagerungsdichte wie etwa von Beyer und Schweiger (1969) erfasst werden. Für den typischen Wertebereich quartärer Grundwasserleiter Norddeutschlands zeigt im Vergleich mit anderen das Verfahren von Istomina (1957) die geringsten Abweichungen in der Schätzung der Gesamtporosität (<3 Vol-%). Bei technisch hergestellten Korngemischen für Filterschüttungen liefert das Verfahren von Beyer und Schweiger (1969) Werte mit den niedrigsten Abweichungen.

Literatur

Fuchs, S., Ziesche, M. & Nillert, P. (2017): Empirische Verfahren zur Ableitung verschiedener Porositätsarten aus Durchlässigkeitsbeiwert und Ungleichkörnigkeitszahl – ein Überblick, *Grundwasser*, 22 83-101.

P 14.2

Numerisches Grundwasserströmungsmodell für das isolierte Grundwassersystem Baumberge (Kreis Coesfeld, NRW)

Jonas Haase¹, Wolfgang Gossel², Patricia Göbel¹

¹ AG Angewandte Geologie, WWU Münster

² FG Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther Universität Halle

Kontakt: pgoebel@uni-muenster.de

Die Baumberge erheben sich als ein flaches Hügelland 18 km westlich von Münster im Kreis Coesfeld. Die Muldenstruktur der geologischen Schichten und die geringere Wasserdurchlässigkeit der Coesfeld-Schichten im Liegenden führen zu einem Aufstau des Grundwassers in den wasserdurchlässigen Baumberge-Schichten und zu über 100 Quellaustritten an deren Ausstrichgrenze [Dölling 2007]. Die Baumberge stellen aufgrund des geschlossenen und isolierten Grundwassersystems ein „Naturlysimeter“ dar [Göbel, 2010]. Seit dem Start des Projektes „Quellen in den Baumbergen“ im Oktober 2007 sind in der Arbeitsgruppe der Angewandten Geologie am Institut für Geologie und Paläontologie der WWU Münster zahlreiche Studien- und Abschlussarbeiten angefertigt worden, die in eine hydrogeologische Konzeptvorstellung der Baumberge münden. Im Rahmen einer Masterarbeit wurde erstmals ein numerisches 3D Grundwasserströmungsmodell mit FEFLOW 6.2 aufgebaut. Mit diesem wurden unterirdische Quelleinzugsgebiete ausgewiesen und eine Volumenstrombilanzierung berechnet. Die automatische und inverse Kalibrierung wurde mit FEPEST in FEFLOW 7 durchgeführt.

Mit den verwendeten Eingangsdaten wurde ein erstes stationäres numerisches 3D Grundwasserströmungsmodell für das isolierte Grundwassersystem der Baumberge erstellt. Dabei fanden sowohl die hydrogeologische Konzeptvorstellung als auch der „Naturlysimeter“-Ansatz in allen Arbeitsschritten Berücksichtigung. Die inneren Leakage-Randbedingungen, die in den Aussageraum mit seinen punktuellen Quelllagen ragen, stellten bei der Modellierung eine besondere Herausforderung dar. Die Modellergebnisse zeigen im engeren Umfeld der Quelllagen teilweise entgegengesetzt gerichtete und damit widersprüchliche Grundwasserströmungsrichtungen bezüglich der hydrogeologischen Konzeptvorstellung an. Der stationäre Ansatz wird den jahreszeitlich stark schwankenden Grundwasserständen und damit einhergehenden Quellschüttungen nicht gerecht.

Literatur

Dölling, B. (2007): Erläuterungen zu Blatt 4010 Nottuln. - Geol. Karte NRW. 1:25.000; Krefeld.

Göbel, P. [Hrsg.] (2010): Quellen im Münsterland - Beiträge zur Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Ökologie und Didaktik. - Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde, 72 (3/4); Münster.

P 14.3

Interpolationsmethoden für Grundwassergleichen – Auswirkungen der Auswahl auf weitere Berechnungen am Beispiel von Austauschvorgängen in der Region Donauried

Marc Ohmer¹, Tanja Liesch¹, Nadine Göppert¹, Nico Goldscheider¹

¹ Abteilung Hydrogeologie, KIT - Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: tanja.liesch@kit.edu

Grundwassergleichenpläne bilden eine wichtige Grundlage für viele Fragestellungen wie die Berechnung hydraulischer Gradienten, Grundwasserfließrichtungen und -geschwindigkeiten, Ausweisung von Einzugsgebieten und Schutzzonen und vieles mehr. Sie basieren in der Regel auf der Interpolation von punktuell gemessenen Grundwasserständen. Neben der Anzahl und räumlichen Verteilung der Grundwassermessstellen ist dabei die Auswahl des Interpolationsverfahrens von großer Bedeutung für die Qualität der berechneten Grundwassergleichenpläne und der Aussagekraft der auf ihnen beruhenden Untersuchungen. Obwohl eine große Anzahl von Interpolationsmethoden zur Auswahl steht, werden in der Praxis häufig die gleichen Verfahren verwendet. Wenn überhaupt, werden im Einzelfall nur wenige Verfahren verglichen und zum Vergleich nur ausgesuchte Fehlermaße herangezogen. Eine Plausibilitätskontrolle findet nur selten statt.

In der vorliegenden Studie wurde zunächst ein Review von vierzehn veröffentlichten Studien erstellt, die jeweils mehrere Interpolationsverfahren für die Erstellung von Grundwassergleichen in verschiedenen Testgebieten verglichen haben. Dabei hat sich gezeigt, dass die am häufigsten verwendeten Verfahren Ordinary Kriging und Inverse Distance Weighting nur in einem Fall die besten Ergebnisse erzielten.

In einer eigenen Untersuchung wurden Grundwassergleichenpläne in der Region Donauried erstellt und verglichen. Die Region Donauried befindet sich am Südrand der Schwäbisch-Fränkischen Alb, Deutschlands größtem Karstaquifer-System. Aus hydrogeologischer Sicht ist das Gebiet durch komplexe Wechselwirkungen zwischen dem regionalen Karstgrundwasserleiter des Malms, dem alluvialen Porengrundwasserleiter im Donauried und den gering durchlässigen Molasse-Formationen gekennzeichnet. Die Region stellt eines der wichtigsten Trinkwasservorkommen Süddeutschlands dar und wird durch zahlreiche Wasserversorger genutzt.

Zum Einsatz kamen für die Erstellung von Grundwassergleichenplänen für den Malm-Karstgrundwasserleiter und den quartären Kiesgrundwasserleiter jeweils neun verschiedene deterministische und geostatistische Interpolationsmethoden. Die Ergebnisse wurden dabei mit sechs Fehlermaßen bewertet und einer Plausibilitätskontrolle auf Grund zusätzlicher vorliegender Daten wie Quellaustritte und Feuchtgebiete unterzogen. Auf Grund der interpolierten Grundwassergleichenpläne wurden anschließend mögliche vertikale Austauschraten zwischen den beiden Aquiferen berechnet. Dabei zeigte sich, dass die berechneten Werte je nach gewähltem Interpolationsverfahren um einem Faktor von größer 10 variieren können. Dies demonstriert die Wichtigkeit der sorgfältigen Auswahl eines Interpolationsverfahrens. Wenn möglich sollten im Einzelfall immer mehrere Verfahren an Hand verschiedener Fehlermaße verglichen und die Ergebnisse einer anschließenden Plausibilitätskontrolle unterzogen werden, um die Fortpflanzung eines möglichen Fehlers gering zu halten.

P 14.4

FREEWAT- FREE and open source Werkzeuge zum Wassermanagement

Björn Panteleit¹, Sven Jensen

¹ Geologischer Dienst für Bremen

Kontakt: bpanteleit@gdffb.de

Im Rahmen des EU HORIZON 2020 Projektes FREEWAT wurde eine Open Source, Public Domain und GIS integrierte Lösung zur Planung und zum Management von Oberflächen- und Grundwasserressourcen entwickelt. Die FREEWAT Plattform ist ein Plugin für die QGIS Software, das es erlaubt die Vorzüge der GIS Werkzeuge mit denen

15 Groundwater and Climate Change (co-organized by IAH-D)

Vorträge

O 15.1: Vortragsreihe 1, 24.03.2018, 09:30-09:45

Das Bremerhavener Grundwasser im Klimawandel – ein FREEWAT-Fallbeispiel

Björn Panteleit¹, Sven Jensen¹

¹ Geologischer Dienst für Bremen

Kontakt: bpanteleit@gdfb.de

Die vorgestellten Untersuchungen stellen eines von 14 Fallbeispielen zu Anwendungsmöglichkeiten der im Rahmen des HORIZON 2020 Projektes FREEWAT Projektes (de Filippis et al., 2017) neu entwickelten Softwareplattform dar. Durch den Einsatz von GIS Werkzeugen und erprobter moderner Simulationswerkzeuge soll ein nachhaltiges Grundwassermanagement gefördert werden. Die im FREEWAT-Projekt entwickelte open source und public domain Programmplattform wurde in einem Plugin zur open source GIS Software QGIS (QGIS, 2015) umgesetzt. Das Plugin beinhaltet ein Modul AkvaGIS zur grafischen Präsentation und Auswertung des Wasserchemismus in vielfältigen Darstellungen z.B. Piper-, Stiff- oder SAR-Diagrammen. Als Simulationsmodule sind die bekannten Programme MODFLOW (in den Versionen 2005 (Harbaugh, 2005) und OWHM (Hanson, 2014)), MT3DMS (Zheng und Wang, 1999) und SEAWAT (Langevin et al., 2007) eingebunden. Zur Kalibrierung und Analyse stehen die Programme MODPATH (Pollock, 1994), UCODE (Poeter et al., 2005) und ZONEBUDGET (Harbaugh, 1990) zur Verfügung. So bietet dieses Management und Planungsmodul eine Modellierungsumgebung zur Simulation der Quantität und Qualität von Oberflächenwasser als auch für das Grundwasser.

Für das Fallbeispiel Bremerhaven wurde das beim Geologischen Dienst für Bremen bestehende Modellgitter in die QGIS Software importiert und mit den FREEWAT Werkzeugen um die hydraulischen die Randbedingungen ergänzt. Das resultierende Strömungsmodell ist zudem als langfristig nutzbares, lizenzkostenfreies und einfach zu bedienendes Werkzeug für die zuständigen Wasserbehörden zum Grundwassermanagement gedacht.

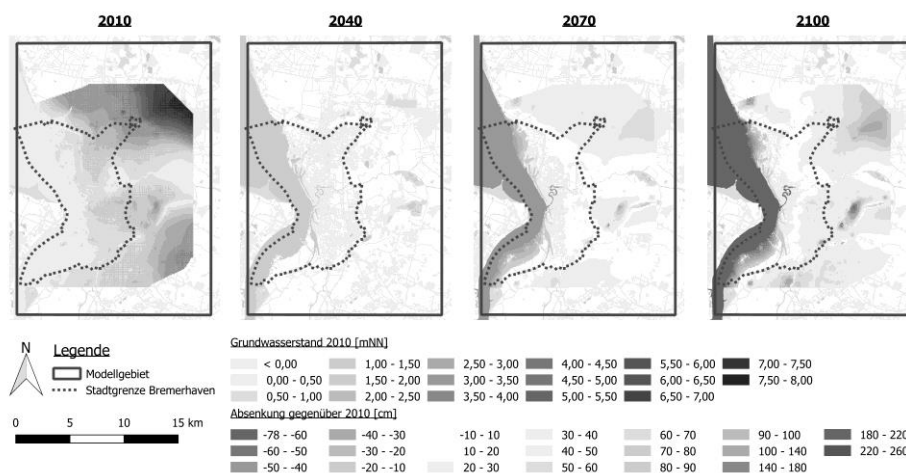


Abb. 1: Mögliche Auswirkungen prognostizierter Klimaänderungen auf das Grundwasser in Bremerhaven

Als Modellszenarien betrachtet das Fallbeispiel Bremerhaven zunächst mögliche Auswirkungen prognostizierter Klimaveränderungen auf den Grundwasserhaushalt. Neben dem Kalibrierungsjahr 2010, wurden für die Zeitschritte 2040, 2070, 2100 ein zunehmender Meeresspiegelanstieg und eine abnehmende Grundwasserneubildung simuliert.

Neben einer Meerwasserintrusion im Küstenbereich zeigen sich rückläufige Grundwasserdruckspiegel. Möglichkeiten eines zukünftigen Grundwassermanagements ergeben sich aus der Steuerung eines Seewasserspiegels und der Hafenbecken. Mit Hilfe eines auf den Modellergebnissen basierenden gezielten Grundwassermonitorings kann das vorgestellte Strömungsmodell im Rahmen fortgesetzter Modellpflege zukünftig ein wichtiges Prognosewerkzeug zum Grundwassermanagement bilden.

Literatur

- De Filippis, G., Borsi, I., Foglia, L., Cannata, M., Mansilla, V.V., Vasquez-Sune, E., Ghetta, M. & Rossetto, R. (2017): Software tools for sustainable water resources management: the GIS-integrated FREEWAT platform. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana* 42, 59-61
- Hanson, R.T., Boyce, S.E., Schmid, W., Hughes, J.D., Mehl, S.M., Leake, S.A., Maddock, T.III & Niswonger, R.G. (2014): One-Water Hydrologic Flow Model (MODFLOW-OWHM): U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A51, 120 S.
- Harbaugh, A.W. (1990): A computer program for calculating subregional water budgets using results from the U.S. Geological Survey modular three-dimensional ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 90-392, 46 S.
- Harbaugh, A.W. (2005): MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, 253 S.
- Langevin, C.D., Thorne, D.T.Jr., Dausman, A.M., Sukop, M.C. & Weixing, G. (2007): SEAWAT Version 4: A Computer Program for Simulation of Multi-Species Solute and Heat Transport: U.S. Geological Survey Techniques and Methods Book 6, Chapter A22, 39 S.
- Poeter, E.P., Hill, M.C., Banta, E.R., Mehl, S. & Christensen, S. (2005): UCODE_2005 and Six Other Computer Codes for Universal Sensitivity Analysis, Calibration, and Uncertainty Evaluation: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A11, 283S.
- O 15.2: Vortragsreihe 1 QGIS, D. (2015): QGIS geographic information System. Open source geospatial Foundation project.
- Zheng C. & Wang, P. P. (1999): MT3DMS, A modular three-dimensional multi-species transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; documentation and user's guide, U.S. Army Engineer Research and Development Center Contract Report SERDP-99-1, Vicksburg, MS, 202 S.

O 15.2: Vortragsreihe 1, 24.03.2018, 09:45-10:00

Simulation möglicher Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen

Tobias Schlinsog¹, Dirk Prause¹, Frank Herrmann², Frank Wendland², Herbert Röhm¹, Jörg Elbracht¹, Lena Hübsch¹

¹ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

² Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Bio- und Geowissenschaften, IBG-3: Agrosphäre

Kontakt: Tobias.Schlinsog@lbeg.niedersachsen.de

Für eine auch zukünftig nachhaltige Nutzung des Grundwasserdargebotes in Niedersachsen ist es notwendig, die möglichen Einflüsse des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung zu identifizieren und dessen Auswirkungen zu beurteilen. Die Bewertung des gegenwärtigen Einflusses der Klimavariabilität auf den Grundwasserhaushalt erfolgt in Niedersachsen auf Landesebene unter Einsatz des rasterbasierten flächendifferenzierten deterministischen Wasserhaushaltsmodells mGROWA (Herrmann et al. 2013).

Mit diesem Modell als Impakt-Modell sowie einem Multi-Modell-Ensemble aus 6 Simulationen des EURO-CORDEX Projekts und 2 des ReKliEs-De Projekts (RCP8.5, „Weiter-wie-bisher“-Szenario) wurden nun auch mögliche zukünftige Veränderungen der Grundwasserneubildung projiziert. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden die systematischen Fehler (BIAS) der Klimamodelle mit dem Linear-Scaling Verfahren und mit dem HYRAS-Beobachtungsdatensatz des DWD korrigiert, und danach die Klimagrößen Niederschlag und potentielle Verdunstung mit bilinearer Interpolation auf das Raster des Impakt-Modells mGROWA übertragen (downscaling).

Nach einer umfassenden Analyse der Ensembleergebnisse können die Herausforderungen für eine langfristige Grundwasserbewirtschaftung erkannt und wasserwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen getroffen werden. Der Beitrag befasst sich deshalb auch mit der Analyse der projizierten zukünftigen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Grundwasserneubildung sowie mit den daraus für das Grundwassermanagement im Land Niedersachsen ableitbaren Schlussfolgerungen. Hierbei stehen drei Zeitabschnitte im Mittelpunkt der Untersuchungen: 1971-2000 als Referenzzeit, 2021-2050 als nahe Zukunft und 2071-2100 als ferne Zukunft.

Literatur

Herrmann, F., Chen, S., Heidt, L., Elbracht, J., Engel, N., Kunkel, R., Müller, U., Röhm, H., Vereecken, H. & Wendland, F., (2013): Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 57(5): 206-224. DOI: 10.5675/HyWa_2013,5_2

O 15.3: Vortragsreihe 1, 24.03.2018, 10:00-10:15

Interreg V A – Projekt ResiBil, Ressourcenbilanzierung des Grundwassers aus kreidezeitlichen Sandsteinsedimenten für die sächsische und tschechische Trinkwasserversorgung vor dem Hintergrund des Klimawandels

Michaela Pohle¹, Silke Reinhardt¹, Florian Kerl¹, Friedrich Mihm¹, Robert Junge¹, Carsten Schulz¹, Peter Börke¹

¹ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden

Kontakt: Michaela.Pohle@smul.sachsen.de

Die Auswirkungen des Klimawandels auf nutzbare Grundwasserdarangebote sind vielerorts unbekannt. Im Rahmen des Interreg V A - Projekts „ResiBil - Wasserressourcenbilanzierung und -resilienzbewertung im Ostteil des sächsisch-tschechischen Grenzraums“ wird grenzüberschreitend die Sensitivität von Grundwasservorkommen in tektonisch beeinflussten kreidezeitlichen Sedimentgesteinen auf klimawandelbedingt hervorgerufene Veränderungen der Grundwasserneubildung und damit auf das nutzbare Grundwasserdarangebot untersucht. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den trinkwasser-versorgungsrelevanten Gebieten des Elbtals und des Zittauer Gebirges.

Von geologischer Seite fließen Modellvorstellungen der faziellen und tektonischen Entwicklung des Untersuchungsgebietes ein. Im Fokus stehen hierbei die Überprüfung der stratigraphischen Einordnung der Kreideablagerungen und deren Korrelation mit den böhmischen Kreide-Formationen. Das Inventar der tektonischen Elemente im Untersuchungsgebiet, u. a. die Lausitzer Überschiebung, wird neu bewertet. Diese Grundlagen fließen in die komplexe, numerische Strömungsmodellierung ein, dabei werden zwei verschiedene Methoden zur numerischen Lösung getestet um deren Anwendbarkeit für die im Modellgebiet vorliegenden speziellen, geologischen Gegebenheiten zu untersuchen. Die Grundwasserneubildung wird vergleichend mit Hilfe eines numerischen Bodenwasserhaushaltsmodells und eines Wasserhaushaltsmodells, angetrieben durch ein Ensemble von Klimaprojektionen, modelliert und in die 3D-Grundwasserströmungsmodellierung als obere Randbedingung eingehen.

Somit werden klima- und nutzungsspezifische Szenarien der Entwicklung des nutzbaren Grundwasserdarangebotes erarbeitet und basierend auf daraus gewonnenen Erkenntnissen, Handlungsvorschläge für Entscheidungsträger und die öffentliche Wasserversorgung abgeleitet. Die Methodik und Modellkette der Herangehensweise zur Sensitivitäts-ermittlung des Grundwasserdarangebotes wird in diesem Beitrag vorgestellt.

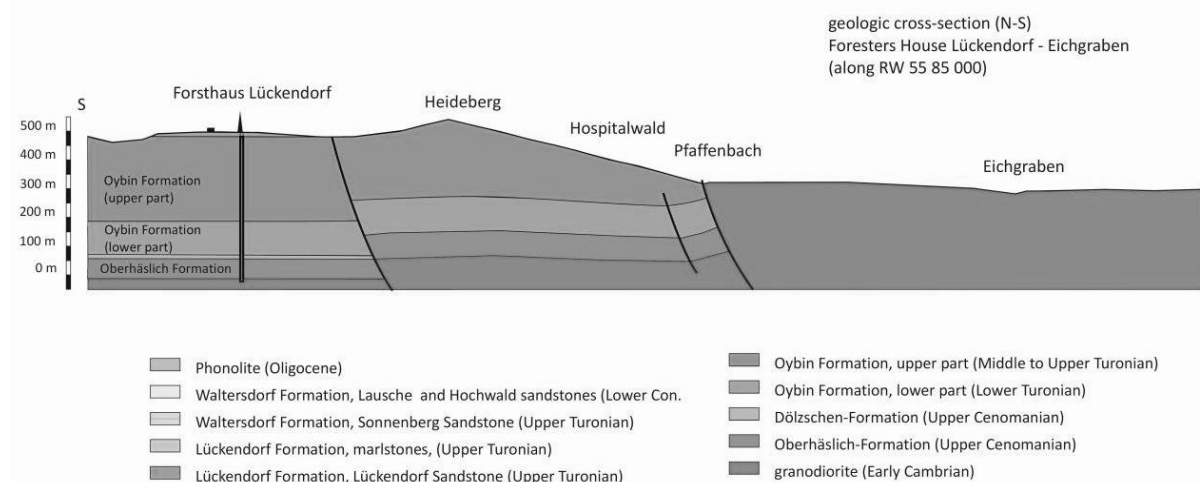


Abb. 1: Geologischer Schnitt der Lausitzer Überschiebung und der angrenzenden Sedimentgesteine - Lückendorf, Zittauer Gebirge (VOIGT, 2017)

Literatur

Voigt, T.; Franke, J. & Franke, S. (2013): Grundlagen für ein geologisch-tektonisches Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischen Grenzbereich im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. Erarb. für das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Friedrich Schiller-Universität Jena.

Voigt, T. (2017): Exkursionsführer - Geologie des Zittauer Gebirges im Rahmen des Interreg V A Projektes ResiBil. Unveröff. Erarb. für das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Friedrich Schiller-Universität Jena.

O 15.4: Vortragsreihe 1, 24.03.2018, 10:15-10:30

Regionale und langzeitliche Trends von Grundwassertemperaturen

Susanne A. Benz¹, Peter Bayer², Gerfried Winkler³, Philipp Blum¹

¹ Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

² Technische Hochschule Ingolstadt (THI)

³ Karl-Franzens-Universität Graz

Kontakt: peter.bayer@thi.de

Temperaturen im Untergrund sind an oberirdische Klimabedingungen gekoppelt. Während kurzwährende Temperaturänderungen wie saisonale oder tägliche Schwankungen nur nahe der Oberfläche beobachtet werden, zeichnen sich langfristige Änderungen auch in bis zu Hunderten von Metern Tiefe ab (Stauffer et al. 2013). Zu solchen langfristigen Änderungen führen insbesondere eine wechselnde Landnutzung und der Klimawandel (Bayer et al. 2016). In dieser Arbeit wurden Temperaturzeitreihen von 229 Grundwasserbrunnen in Österreich untersucht und verglichen, um regionale Unterschiede zu erklären und einen beobachteten Temperaturwandel zu deuten. Die Messdaten wurden zum Teil seit 1966 kontinuierlich aufgezeichnet und erlauben so einen Langzeitvergleich mit Lufttemperaturen. In folgender Untersuchung wurde hierzu sowohl ein linearer Trend als auch alternativ eine stufenartige Änderung angenommen.

Die Grundwassertemperaturänderungen stiegen im Schnitt $+0,8 \pm 1,0$ K in den Jahren von 1994 bis 2013. Im selben Zeitraum erwärmten sich Lufttemperaturen in Österreich um $0,72 \pm 0,04$ K, und diese zeigen somit eine deutlich geringere Streuung. Die extremsten Temperaturänderungen im Grundwasser, vor allem an manchen Standorten beobachtete Abkühlungen, können allerdings auf lokale Gegebenheiten zurückgeführt werden, wie etwa die Installation neuer Anlagen zur Trinkwasserversorgung, die das lokale hydrogeologische Regime verändern. Der Einfluss von lokalen Bedingungen ist auch der Grund für die starke Streuung in der Korrelation von Grundwasser- und in der Nähe (< 5 km) gemessenen Lufttemperaturen. Spearman-Korrelationskoeffizienten schwanken von $-0,36$ im Zentrum von Linz bis hin zu $0,80$ außerhalb von Graz. Im Gegensatz dazu korrelieren landesweite Grundwasser- und Lufttemperaturmittel sehr gut mit einem Wert von $0,83$.

Bei der Darstellung der Grundwassertemperaturänderung mit einer Stufenfunktion lassen sich sogenannte Wechsel im Klimaregime nachweisen (Menberg et al. 2014). Deren Existenz wurde in globalen atmosphärischen Klimaparametern bereits für die späten 1970er, 1980er und 1990er bewiesen. Von den hier betrachteten Grundwassertemperaturen zeigen jedoch nur 20 % aller Brunnen diese Regimewechsel. Dafür erfolgte ein zusätzlicher Regimewechsel in 2007 in 33 % aller Brunnen. Insgesamt werden Grundwassertemperaturen besser von der Stufenfunktion (RMSE: $0,3 \pm 0,2$ K) repräsentiert als vom linearen Ansatz (RMSE: $0,4 \pm 0,2$ K).

Literatur

Bayer, P., Rivera, J.A., Schweizer, D., Schaerli, U., Blum, P. & Rybach, L. (2016): Extracting past atmospheric warming and urban heating effects from borehole temperature profiles. – *Geothermics*, 64: 289-299.

Menberg, K., Blum, P., Kurylyk, B.L. & Bayer, P. (2014): Observed groundwater temperature response to recent climate change. – *Hydrology and Earth System Sciences*, 18: 4453-4466

Stauffer, F., Bayer, P., Blum, P., Giraldo, N.M. & Kinzelbach, W. (2013): Thermal use of shallow groundwater. – CRC Press, 266 S.

Poster

P 15.2

TOPSOIL - Grundwasserversalzung in der Elbe-Weser-Region

Eva González¹, Nico Deus¹, Jörg Elbracht¹, Mohammad Azizur Rahman², Helga Wiederhold², Bernhard Siemon³

¹ L3.6 Hydrogeologie, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

² Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik

³ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Kontakt: Eva.Gonzalez@lbeg.niedersachsen.de

Die großflächige Versalzung der küstennahen Aquifere in der Elbe-Weser-Region, wie auch im gesamten Bereich der niedersächsischen Nordseeküste, stellt nicht nur die örtlichen Wasserversorger, sondern auch die Landwirtschaft vor große Probleme. Der durch den Klimawandel bedingte Anstieg des Meeresspiegels, Änderungen der Niederschlagsintensität und -verteilung und eine darauf basierende Änderung der Grundwasserneubildung werden großen Einfluss auf die Grundwasservorkommen an der Nordseeküste haben.

Im Teilprojekt GE-2 des Interreg Projektes „Topsoil“ werden daher die Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels und des damit einhergehenden Meeresspiegelanstiegs auf die Elbe-Weser-Region untersucht. Im Fokus steht dabei eine mögliche Verlagerung der Salz-/Süßwassergrenze. Gründe dafür können Salzwasserintrusionen, klimatisch bedingte Änderungen der Grundwasserneubildung, aber auch die verstärkte Entnahme von Grundwasser, sowohl für die Entwässerung z.B. zur landwirtschaftlichen Nutzung von Flächen, als auch für landwirtschaftliche Beregnung sein.

Ziel ist es, die Probleme, die durch eine Veränderung der Salz-/Süßwassergrenze, für Wasserversorger und Landwirtschaft entstehen, zu erkennen und die dahinterstehenden Prozesse zu verstehen. Dafür wird, ausgehend von der heutigen Situation und auf der Basis eines hydrogeologischen 3D-Modells ein Strömungsmodell entwickelt, mit dem die Auswirkungen verschiedener Klimaszenarien berechnet werden können. Die aktuelle Lage der Salz-/Süßwassergrenze wird dafür mit Hilfe von Grundwasserbeschaffenhkeitsdaten und aeroelektromagnetischen Daten der D-AERO Kampagne der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe identifiziert.

Außerdem sollen die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Entwässerung auf die Grundwasserversalzung untersucht werden und zudem die Möglichkeit der Süßwasserspeicherung in den Geestbereichen untersucht werden.

P 15.3

Shallow aquifer diagnostics across Europe at the overview scale

Andreas Günther¹, Maxi Bretthauer¹, Stefan Broda¹, Patrick Clos¹, Jörg Reichling¹

¹ BGR

Kontakt: a.guenther@bgr.de

The “International Hydrogeological Map of Europe” (IHME1500) provides harmonized spatial information on first-order shallow aquifer characteristics over Europe at scale 1:1.5 Mil. These are related to material compositions, general productivity and flow regime of uppermost potential aquifer (or non-aquifer) assemblages. Additionally, IHME1500 displays contour line-based information on groundwater depths for some major European aquifer basins, the location of groundwater springs, aquifer thicknesses, etc., on selected map sheets. The digital availability of IHME1500 data allows the integration of such basic spatial hydrogeological information with pan-European data on soil properties from the European Soil Database.

In this contribution, we present the application of simple well-established weighting/scoring schemes for the combination of environmental variables related to hydrogeology, soil properties and climatology for the continental-level estimation of general shallow groundwater properties like recharge- and pollution potentials, or the estimation of

groundwater vulnerability to floods and droughts. Using selected global climate model data, scenario-based evaluations using climate projections that are used in the Fifth Assessment IPCC report can be performed and European “hot spots” of shallow aquifer systems under potential environmental stress due to climate change can be identified, characterized and compared.

P 15.4

Vorhersagen der Grundwasserneubildung in gegensätzlichen Klima: Der Effekt von Modelvereinfachungen und Kalibration auf simulierte Grundwasserneubildungsraten

Christian Moeck¹, Jana von Freyberg², Mario Schirmer¹

¹ Eawag – Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

² ETH Zürich

Kontakt: christian.moeck@eawag.ch

Unsere Studie untersucht, welchen Einfluss die Modelkomplexität und die ausgewählte Kalibrationsperiode auf simulierte Grundwasserneubildungsraten haben. Dafür wurde eine 20-jährige Messreihe täglicher Grundwasserneubildungsraten von einem Gross-Lysimeter mittels eines sogenannten „Differential Split-Sample Test (DSST)“ genutzt, um vier unterschiedlich komplexe Grundwasserneubildungsmodelle zu kalibrieren. Der DSST vergleicht Simulationen unterschiedlicher Zeitperioden mit verschiedenen klimatischen Eigenschaften (Andreassian et al. 2009). Die vier Grundwasserneubildungsmodelle wurden basierend auf sechs verschiedenen klimatischen Zeitperioden mit einem eingeschränkten Monte-Carlo Ansatz kalibriert (Tonkin and Doherty 2009).

Trotz deutlicher Unterschiede in den klimatischen Bedingungen einzelner Kalibrationsperioden konnten alle Modelle ähnlich gut kalibriert werden. Jedoch zeigt sich in der Validierungsphase, dass die komplexeren physikalischen Modelle die Grundwasserneubildung in einem kleineren Unsicherheitsbereich vorhersagen als die beiden vereinfachten Modelle. Generell konnten wir für diese Modelle eine starke Abhängigkeit von der gewählten Kalibrationsperiode, d.h. von den klimatischen Bedingungen innerhalb dieser Periode, identifizieren. Für eine Kalibrationsperiode, die sehr unterschiedlichen klimatische Bedingungen enthält (z. Bsp. sehr nasse und sehr trockene Perioden) waren die Unsicherheitsbereiche am kleinsten. Es zeigt sich auch, dass für alle Modelle generelle Trends zwischen den ausgewählten Kalibrationsperioden und der Validierungsphase zu beobachten sind. Die Grundwasserneubildung wurde überschätzt, wenn die Validierungsphase nasser war als die Kalibrationsperiode, wohingegen bei einer trockeneren Validierungsphase die Grundwasserneubildung tendenziell unterschätzt wurde. Die vier Modelle zeigten die besten Resultate, wenn die klimatischen Bedingungen während der Validierungsphase denen der Kalibration ähnlich waren. Dieser Trend trat bei allen Grundwasserneubildungsmodellen auf, war jedoch weniger ausgeprägt für die komplexeren physikalischen Modelle.

Die gefundenen Unterschiede in den simulierten Grundwasserneubildungsraten zwischen den Modellen und den klimatisch unterschiedlichen Kalibrationsperioden sind für weitere Bodentypen und Untersuchungsgebiete ebenfalls zu erwarten. Unsere Ergebnisse sind daher in jenen Bereichen der Hydrogeologie (z.B. Klimaauswirkungsstudien, Wasserressourcenmanagement, etc.) von Relevanz, in denen vereinfachte Grundwasserneubildungsmodelle für die Entscheidungsfindung genutzt werden. Unsere Analyse deutet auf unterschiedliche Robustheiten der Modelle hin und zeigt, dass kalibrierte Modelparameter unter bestimmten klimatischen Bedingungen nur eingeschränkt übertragbar sind um Grundwasserneubildungsraten in gegensätzlichen Klima zu simulieren.

Literatur

Andreassian, V., Perrin, C., Berthet, L., Le Moine, N., Lerat, J., Loumagne, C., Oudin, L., Mathevet, T., Ramos, M.H. & Valery, A. (2009): HESS Opinions 'Crash tests for a standardized evaluation of hydrological models'. *Hydrology and Earth System Sciences* 13 no. 10: 1757-1764.

Tonkin, M. & Doherty, J. (2009): Calibration-constrained Monte Carlo analysis of highly parameterized models using subspace techniques. *Water Resources Research* 45.

16 Trinkwasser und Wasserversorgung

Vorträge

O 16.1: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 11:30-11:45

Verkehrsinfrastrukturprojekte in Trinkwasserschutzgebieten – Konfliktpunkte und Lösungen

Meike Beier¹, Arnd Allendorf¹

¹ Hessenwasser GmbH & Co. KG

Kontakt: meike.beier@hessenwasser.de

Die Hessenwasser GmbH & Co. KG betreibt 21 Wasserwerke in 15 Trinkwasserschutzgebieten (WSG) mit insgesamt 387 m² Fläche vorwiegend in Südhessen. Im Ballungsraum des Rhein-Main-Gebietes sind die WSG von Verkehrsinfrastrukturprojekten wie dem Neu- und Ausbau von Bahntrassen und Autobahnen betroffen.

Insbesondere im WSG Stadtwald südlich von Frankfurt bestehen mit vier Bahnprojekten umfangreiche Betroffenheiten. Im Hessischen Ried sollen eine Schnellbahn- und Güterzugtrasse sowie die Ausbaustrecke der BAB A 67 über ca. 15 km durch die WSG der Hessenwasser verlaufen. Im WSG Praunheim II im Nordosten von Frankfurt ist u. a. die Verlängerung einer Straße und einer U-Bahntrasse zwischen zwei Brunnen durch die WSG-Zone II vorgesehen.

Während des Baus und Betriebs der Trassen entstehen unterschiedliche qualitative und quantitative Gefahren für das Grund- und Trinkwasser. Die Gefährdungen umfassen Anströmungshindernisse durch in den Untergrund eingreifende Bauwerke, bauzeitige Einflüsse durch Wasserhaltungen, Stoffeinträge während des Baus, im Normalbetrieb und durch Havarien sowie direkte Betroffenheiten von Anlagen.

Durch intensive, konsequente Begleitung von Planungen und Genehmigungsverfahren konnte Hessenwasser mit Unterstützung der Wasserbehörden die Umsetzung zahlreicher Maßnahmen zur Erfassung und Verringerung der Risiken sowie eine zunehmende Sensibilisierung der Bauträger für den Grundwasserschutz erreichen.

So wird für die Bahnprojekte im Stadtwald eine kumulative Gefährdungsabschätzung erarbeitet. Die Auswirkungen von grundwasserrelevanten Bauwerken werden modelliert und überwacht und Konzepte zur Wiederversickerung von bauzeitlich entnommenem Wasser bzw. Ersatzinfiltrationen bei qualitativen Einschränkungen entwickelt.

Bei der Entwässerung der Trassen werden die Lage in den WSG-Zonen, die Fließdauer zu den Brunnen und die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung berücksichtigt. In sensiblen Bereichen erfolgt eine Abdichtung und das Niederschlagswasser wird außerhalb des sensiblen Bereiches in zentralen Sickerbecken mit vorgeschalteten Absetzbecken versickert. In weniger sensiblen Bereichen erfolgt eine dezentrale Versickerung über Seitengräben mit qualifiziertem Bodenaufbau.

Für Bahntrassen hat Hessenwasser ein Herbizideinsatzkonzept entwickelt, das in Abhängigkeit von der lokalen Sensibilität einen Verzicht auf Herbizide oder deren Einsatz unter Einschränkungen und Bedingungen vorsieht. Sowohl in der Bau- als auch der Betriebsphase ist ein Monitoring der Grundwasserqualität erforderlich.

Für Havariiefälle werden Ersatzwasserbeschaffungskonzepte erstellt; im Fall einer sehr hohen Havariegefährdung aufgrund kurzer Fließwege erfolgt sogar der Bau neuer Brunnen und Infiltrationsanlagen durch den Bauträger. Brunnen, die aufgrund Durchfahrung der Zone I aufgegeben werden müssen, werden ersetzt. Im Fall einer direkten Betroffenheit eines Wasserwerkes wurde eine Planungsvariante erarbeitet, mit der das Wasserwerk erhalten bleiben kann.

Herausforderungen im Ressourcenmanagement für die Sicherung der Trinkwasserversorgung der wachsenden Stadt Berlin

Gunnar Lorenzen¹, Dörte Siebenthaler¹, Sebastian Schimmelpfenning¹, Gesche Grützmacher¹

¹ Wasserversorgung, Berliner Wasserbetriebe

Kontakt: gunnar.lorenzen@bwb.de

Die Berliner Wasserbetriebe versorgen ca. 3,5 Mio. Menschen mit über 200 Mio. m³ Trinkwasser pro Jahr, das in neun Wasserwerken aus ca. 650 Tiefbrunnen gewonnen wird. Das Rohwasser wird zu ca. 90 % innerhalb des Stadtgebietes gefördert und speist sich zu ca. 60 % über Uferfiltration, 10 % über Grundwasseranreicherung und 30 % über Grundwasserneubildung. Die Aufbereitung erfolgt ausschließlich mit naturnahen Verfahren (Belüftung, Schnellsandfilter). Diese Rahmenbedingungen stellen eine besondere Herausforderung für das Ressourcenmanagement dar. Während der Wasserbedarf der wachsenden Metropole steigt, ist die Verfügbarkeit nutzbaren Grundwassers limitiert.

Zu qualitativen Einschränkungen führen seit Beginn der Grundwassernutzung geogene Faktoren wie Grundwasserversalzung und Huminstoffe. Hinzu kommen anthropogene Einträge wie zunehmende Sulfatfrachten aus den Tagebaugebieten im Oberlauf von Spree und Havel, Kontaminationen aus Altlasten, sowie auch abwasserbürtige Spurenstoffe. Letztere finden sich sowohl in den Abstrombereichen ehemaliger Rieselfelder, als auch im Uferfiltrat. Eine besondere Herausforderung stellen neu auftretende, teilweise sehr persistente Arzneimittelrückstände dar. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an das Trinkwasser auf Grund verbesserter Analyseverfahren, die mit einer zunehmenden Sensibilisierung in Öffentlichkeit und Fachwelt einhergehen. Die wirksamste Option zur Sicherung der Rohwassergüte bleibt oft nur die Aufgabe von Wasserfassungen oder die Reduzierung der Fördermengen an gefährdeten Standorten.

Mengenverluste ergeben sich auch, wenn stark gealterte Brunnen, die oft noch mit hydraulischen Kurzschlüssen in mehreren Grundwasserleitern verfiltert waren, aufgegeben werden. Ersatzbrunnen können entsprechend dem Stand der Technik nur in einem Grundwasserleiterkomplex verfiltert werden und erreichen daher oft nicht die Ergiebigkeit der Altbrunnen. Eine große Unsicherheit stellen ferner laufende wasserwirtschaftlichen Bewilligungsverfahren für Wasserwerke dar, in denen die Umwelt- und FFH-Verträglichkeit der Grundwasserentnahme geprüft wird.

Eine Aufgabe des Ressourcenmanagements ist es, durch Monitoring, Forschung und Erkundung Probleme frühzeitig zu erkennen, das Prozessverständnis zu vertiefen und Strategien für eine nachhaltige Sicherung der Wasserversorgung zu entwickeln. Handlungsoptionen können z.B. die Entkoppelung des teilgeschlossenen urbanen Wasserkreislaufs, die Nachrüstung von Kläranlagen für eine verbesserte Spurenstoffentfernung oder die Umsetzung neuer Verfahren für eine schonendere Bewirtschaftung des Wasserhaushaltes sein.

Potentielle Auswirkungen von Extremwetter-Ereignissen auf Wassergewinnungsanlagen

Till Rubbert¹, Steffen Bender²

¹ Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH

² Climate Service Center Germany (GERICS)

Kontakt: t.rubbert@bup-gup.de

Die Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland sind verantwortlich für die Bereitstellung von Trinkwasser in der erforderlichen Menge und Qualität. Während im Normalbetrieb versorgungsrelevante Einschränkungen hinsichtlich Quantität oder Qualität kaum auftreten, ist die Gewährleistung der Versorgungssicherheit in Extremsituationen oder im Krisenfall eine keinesfalls triviale Aufgabenstellung. Der DIN definiert mit den Normen DIN EN 15975-1 und -2 einen Handlungsrahmen im Sinne der Sicherheit der Trinkwasserversorgung, sowohl zum Risikomanagement im Normalbetrieb (DIN EN 15975-2) als auch zu Organisation und Management im Krisenfall (DIN EN 15975-1). Zu den relevanten Szenarien zählen potentiell auch Extremwetterereignisse, die vielfältige, in der Regel nachteilige

Auswirkungen auf die technischen und betrieblichen Aspekte der Trinkwasserversorgung haben können. Mögliche Extremwetterereignisse mit einzelfallspezifischen, potentiellen Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit sind Dauer- und Starkregenereignisse sowie hieraus resultierende Überflutungs- und Hochwasserszenarien einerseits und überdurchschnittlich lang andauernde Trocken- und Hitzeperioden mit Auswirkungen auf Oberflächenwasser- und/oder oberflächennahe Grundwasserstände andererseits.

Flächen und Waldbrände, die in Folge von extremen Hitze- und Trockenwetterperioden entstehen können, sowie Sturmereignisse können die Versorgungssicherheit gefährden. Gleiches gilt unter bestimmten Rahmenbedingungen auch für ausgeprägte Kälte- und Frostperioden, potentiell verbunden mit extremem Schneefall.

Zur Definition von Extremwetterereignissen existieren vielfältige Varianten und Interpretationen. Generell lässt sich ein Extremwetterereignis als „außerordentliches“ Ereignis charakterisieren, welches von langjährigen Durchschnittswerten in extremem Maße abweicht und in seiner Form eine stark begrenzte Ereignishäufigkeit aufweist.

Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) befasst sich mit möglichen Extremwetterszenarien, ihren potentiellen Auswirkungen auf Trinkwassergewinnungsanlagen und denkbaren Gegenmaßnahmen sowie vorbeugenden Strategien. Hierdurch soll einerseits das Bewusstsein auf Versorgerseite bezüglich möglicher Risiken geschärft werden, andererseits sollen die Ergebnisse dabei unterstützen, die Vulnerabilität von Anlagen zu bewerten sowie mit geeigneten Maßnahmen zu minimieren und somit einen Beitrag zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit auch unter dem Einfluss extremer Wetterereignisse leisten.

Der vorliegende Beitrag stellt das Vorhaben und den Stand der Bearbeitung vor, erläutert die bestehenden Risiken und die identifizierten risikominierenden Gegenmaßnahmen.

O 16.4: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 12:15-12:30

Einfluss von extremen Niederschlagsereignissen auf eine für die Trinkwasserversorgung genutzte Karstquelle (Gallusquelle, Schwäbische Alb)

Traugott Scheytt¹, Johannes Zirlewagen, Ferry Schiperski, Olav Hillebrand², Karsten Nödler, Tobias Licha

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Berlin

² Geowissenschaftliches Zentrum, Universität Göttingen

Kontakt: traugott.scheytt@tu-berlin.de

Die Identifizierung und Unterscheidung von Kontaminationsquellen ist entscheidend für einen effektiven Rohwasserschutz. Quelleinzugsgebiete in verkarsteten Grundwasserleitern stellen hierbei aufgrund der extremen Heterogenitäten und meist hoher Vulnerabilität zusätzliche Herausforderungen dar. Im Rahmen des BMBF Verbundprojektes AGRO (02WRS1277B) konnten die Auswirkungen unterschiedliche Starkniederschlagsereignisse, vom sommerlichen Starkregen bis zum 100jährigen Hochwasser, auf das Rohwasser an der Gallusquelle bestimmt werden.

Am Beispiel des Einzugsgebietes der Gallusquelle (Schwäbische Alb) wurden die beiden künstlichen Süßstoffe Acesulfam und Cyclamat hinsichtlich ihrer Eignung als Abwasserindikatoren im Karst untersucht. Sie sind spezifisch für Abwasser und treten üblicherweise in relativ hohen Konzentrationen auf. Beide Stoffe zeigten in bisherigen Untersuchungen keine nennenswerte Retardation. Während Cyclamat bei der Abwasserbehandlung und in der Umwelt besser abbaubar ist, erweist sich Acesulfam als relativ persistent. Relativ hohe Cyclamat / Acesulfam-Verhältnisse weisen somit auf frisches unbehandeltes Abwasser hin, niedrige Verhältnisse dagegen auf älteres oder behandeltes Abwasser.

Im Untersuchungsgebiet wurde zunächst ein Mischwassersystem mit Regenüberlaufbecken und weitere potentielle Eintragsquellen für unbehandeltes bzw. behandeltes Abwasser identifiziert. Das Quellwasser wurde nach verschiedenen Neubildungsereignissen ereignisorientiert beprobt und auf organische Spurenstoffe, anorganische Inhaltsstoffe, Trübe und Mikroorganismen analysiert. Acesulfam konnte in allen Proben nachgewiesen werden. Bei Niedrigwasserbedingungen lagen die Konzentrationen konstant um 19 ng L⁻¹. Während eines Abflussereignisses ohne vorherigen Abwassereintrag sanken die Acesulfam-Konzentrationen, nach Abwassereintrag stiegen sie leicht an.

Cyclamat konnte dagegen nur nach Überlauf des Regenüberlaufbeckens mit ca. 100 h Verzögerung im Quellwasser nachgewiesen werden.

Es zeigte sich, dass bei kurzzeitigen, einmaligen Starkniederschlagsereignissen die höchsten Werte an anorganischen und organischen Inhaltsstoffen nachgewiesen werden konnten, die mittels der Indikatorenmethode insbesondere auf das Abwasser und den Überlauf des Regenwasserrückhaltebeckens zurückgeführt werden konnten. Das 100jährige Hochwasser zeigte demgegenüber geringere Konzentrationen der betrachteten Parameter.

O 16.5: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 12:30-12:45

Kontaminationsdynamik eines urban beeinflussten semiariden Karstaquifersystems – Empfehlungen für Monitoring und Rohwassermanagement

Sebastian Schmidt¹, Felix Grimmeisen², Fabian Ries³, Markus Giese¹, Wiebke Warner¹, Tobias Licha¹, Martin Sauter¹

¹ Angewandte Geologie, Georg-August-Universität Göttingen

² Abteilung Hydrogeologie, Karlsruher Institut für Technologie

³ Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Kontakt: Sebastian.Schmidt@geo.uni-goettingen.de

Karstgrundwasserleiter stellen im östlichen Mittelmeerraum bedeutende Trinkwasserressourcen dar. Diese weisen jedoch oft eine stark zunehmende Besiedlung im Bereich der Einzugsgebiete aus, welche einen Einfluss auf die Wasserqualität ausübt. Dies trifft auf das untersuchte Aquifersystem (ca. 800 km²) des zentralen Westjordanlandes zu, welches seit Jahrzehnten besonders von Abwasserinfiltration betroffen ist. Da Karstaquifere eine sehr heterogene Verweilzeitenverteilung im Bereich von Stunden bis Jahrhunderte aufweisen können, werden sowohl kurzzeitige (v.a. durch mikrobielle Kontaminanten) als auch langfristige Beeinträchtigungen der Wasserqualität beobachtet. Zum Beispiel weisen zahlreiche Quellen des untersuchten Systems bereits Nitratkonzentrationen im Bereich von 50 mg/L oder darüber auf.

Um die verschiedenen Rohwasserfraktionen zu quantifizieren und ein angepasstes Rohwassermanagement zu ermöglichen, wurde ein breites Spektrum an Monitoringparametern (vor allem E. coli, Chlorid, Nitrat, elektrische Leitfähigkeit und stabile Mikrokontaminanten wie Carbamazepin und Acesulfam) und -strategien eingesetzt und beurteilt. Dabei wurden bis zu 45 Quellen, sowohl unter stabilen Hoch- als auch Niedrigwasserbedingungen sowie während Ereigniswasserdurchbrüchen beprobt. Zur zeitlich hochauflösenden Beobachtung wurden dabei 14 Quellen mit kontinuierlichen Monitoringsystemen ausgestattet, standardmäßig für elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur, ausgewählte Quellen zusätzlich für u. a. Trübung und Nitrat (UV-spektral).

Generell zeigt sich eine hohe Korrelation der Abwassertracer Acesulfam, Carbamazepin und Chlorid gegenüber Nitrat. Die integrale abwasserbürtige Komponente im Quellwasser, welche jedoch im Jahresverlauf oftmals hoch variabel ist, kann über die natürliche Hintergrundkonzentration von Chlorid über Mischungsmodelle quantifiziert werden. Diese wurde für 37 Quellen über historische Daten, welche teilweise bis 1938 zurückreichen, abgeschätzt (Schmidt et al., 2013). Zum Beispiel wurde für die wasserwirtschaftlich bedeutende Quelle von Jericho ein abwasserbürtiger Anteil zwischen 8–15 % ermittelt. Eine parallele Analyse mittels Carbamazepin ergibt nur einen halb so hohen Wert, was auf eine hohe Fraktion an Wasser mit mehreren Jahrzehnten Aufenthaltszeit hinweist.

Zusammenfassend wird die elektrische Leitfähigkeit als zweckmäßiger und stabiler Parameter für ein hochauflösendes Monitoring empfohlen. Über diese Zeitreihen kann die hydrologische und Transportdynamik sowie typische Zeitversätze und Ereigniswasseranteile ermittelt werden. Dies ermöglicht eine angepasste Beprobungsstrategie hinsichtlich der mikrobiellen Belastung und eine Optimierung des Rohwassermanagements. Ausgewählte Monitoringstationen wurden mit einer Datenfernübertragung ausgestattet. Gegenwärtig wird ein automatisches Frühwarnsystem entwickelt, in welches auch Niederschlagsdaten eingehen. Dies ermöglicht auch relativ kleinen kommunalen Wasserversorgern ein Management in nahezu Echtzeit.

Literatur

Schmidt, S., Geyer, T., Marei, A., Guttman, J. & Sauter, M. (2013): Quantification of long-term wastewater impacts on karst groundwater resources in a semi-arid environment by chloride mass balance methods. *Journal of Hydrology* 502, 177–190.

O 16.6: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 15:45-16:00

Non-Target Analyse kombiniert mit der effekt-orientierten Analytik – eine zukunftsweisende Strategie im Rohwassermonitoring?

Vanessa Hinnenkamp¹, Stephanie Selke¹, Anne Simon¹, Peter Balsaa¹, Torsten C. Schmidt²

¹ IWW Zentrum Wasser, Moritzstraße 26, 45476 Mülheim an der Ruhr

² Universität Duisburg-Essen, Instrumentelle Analytische Chemie und Zentrum für Wasser- und Umweltforschung, Universitätsstraße 5, 45141 Essen

Kontakt: v.hinnenkamp@iww-online.de

Die Umweltanalytik ist ein wichtiges Instrument, um unerwünschte organische Mikroschadstoffe aus dem Bereich Landwirtschaft, Haushalt und Industrie in den unterschiedlichsten Wassermatrizes quantitativ und qualitativ, selbst in niedrigsten Konzentrationen, nachzuweisen. Obwohl bereits eine große Substanzpalette im „Target Screening“ (Nachweis bekannter Substanzen) routinemäßig analysieren werden kann, wurden in den letzten Jahren verstärkt Anstrengungen unternommen, möglichst alle (auch unbekannte) organischen Wasserinhaltsstoffe erfassen zu können („Non-Target Screening“).

Neuere Studien belegen, dass die unbekannten Chemikalien nicht nur ein hohes Risiko für aquatische Organismen darstellen, sondern auch die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen können. Da gezielte Analysen hier nicht möglich sind, können diese Belastungen nur mittels integrierter Untersuchungsansätze aufgespürt werden, wie zum Beispiel mit der effekt-gerichteten Analyse (EDA, effect directed analysis). EDA stellt eine interdisziplinäre Strategie dar, die bioanalytische Verfahren zur toxikologischen Wirkung von Chemikalien mit chemischer Analytik und physikalisch-chemischen Trennverfahren verbindet. Auf der chemisch-analytischen Seite wurde mit der hochauflösenden LC-MS/MS (Liquid-Chromatography mit gekoppelter Massenspektrometrie (MS/MS)) gerätetechnisch die Basis hierfür geschaffen. Die konkrete Anwendung im Stoffscreening in Gewässern ist Gegenstand des aktuellen Forschungsprojekts. Ziel des Projekts ist es, eine schnelle, robuste und routinetaugliche Non-Target Analytik im Bereich der organischen Mikroschadstoffe in Rohwässern (Oberflächen- und Grundwässer), die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, aufzubauen. In Kombination mit unterschiedlichen toxikologischen Testsystemen soll ein Modul für eine vorsorgende Rohwasserüberwachung geschaffen werden. Die Präsentation soll einen kurzen Überblick zu dem Projektstand geben.

O 16.7: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 16:00-16:15

Priorisierung von für die Wasserversorgung relevanten Stoffen (Hot-Target-Analytik)

Karsten Nödler¹, Oliver Happel¹, Frank Sacher¹, Marco Scheurer¹, Florian R. Storck¹, Heinz-Jürgen Brauch¹

¹ Abteilung Analytik und Wasserbeschaffenheit, TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser

Kontakt: karsten.noedler@tzw.de

Wasserwirtschaft und Wasserverbände stehen dem Auswahlmodus für prioritäre Stoffe kritisch gegenüber, da er bisher kaum zu einer Verbesserung der Beschaffenheit der Rohwasserressourcen geführt hat. Aus Sicht der Wasserversorgung ist insbesondere zu kritisieren, dass die Vielzahl von neuen, erst in den letzten 30 bis 50 Jahren verwendeten Stoffen (sogenannte »emerging substances«) kaum berücksichtigt wurde, obwohl gerade diese Substanzen derzeit bei Wasserqualitätsproblemen im Fokus der Öffentlichkeit stehen. Dafür sind beispielsweise in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie Stoffe gelistet, denen in gelöster Form in der aquatischen Umwelt praktisch keine Bedeutung zukommt und die daher für die Trinkwasserversorgung keine Relevanz besitzen. Aufgrund der Vielzahl eingesetzter Stoffe und aktuellen Diskussionen hinsichtlich der Registrierung neuer Substanzen innerhalb des REACH-Umfeldes werden Strategien benötigt, um die Möglichkeiten eines Auftretens von chemischen Stoffen in Roh- und Trinkwasser

sowie potenziell assoziierter gesundheitlicher Risiken bereits im Vorfeld einschätzen und rechtzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

Ziel des hier vorgestellten Vorhabens war es, einen solchen Ansatz zu entwickeln. Anhand klar definierter Kriterien werden aus Stoffdatenbanken die Substanzen identifiziert, die aufgrund ihrer physikochemischen Eigenschaften eine ausreichende Mobilität (M) sowie Persistenz (P) gegenüber biologischem Abbau aufweisen und daher bei naturnahen Aufbereitungsverfahren kaum zurückgehalten werden. Solche PM-Stoffe besitzen eine hohe Relevanz für Wasserversorger. Stoffe, die darüber hinaus auch mittels technischer Aufbereitungsverfahren bei der Trinkwassergewinnung nicht entfernt werden können und eine potenzielle Gesundheitsgefahr darstellen, werden als „Hot-Targets“ bezeichnet.

Bezüglich technischer Entfernbarkeit werden sowohl Aktivkohlefiltration als auch Ozonung berücksichtigt. Die Aktivkohlefiltration stellt eine bewährte Methode zur Entfernung lipophiler Stoffe aus der Wasserphase dar, weshalb hier - wie bereits bei der M-Abschätzung - der log D der Substanz zum Tragen kommt. Hinsichtlich der Ozonung wurde ein Software-Tool entwickelt, welches definierte und für die Reaktion mit Ozon anfällige Substrukturen innerhalb der Molekülstruktur der zu prüfenden Substanzen aufspürt.

Stoffe, die aufgrund ihrer Mobilität und Widerstandsfähigkeit gegenüber biologischem Abbau und technischen Aufbereitungstechniken trinkwasserrelevant sind, werden im weiteren Verlauf auf strukturelle Auffälligkeiten hinsichtlich einer Gesundheitsgefahr geprüft. Dabei kommt u. a. eine von der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission entwickelte Software zum Einsatz, mit deren Hilfe die fragliche Substanz auf das Vorhandensein kritischer Struktureinheiten geprüft werden kann. Hinweisen auf karzinogene Wirkung wird die höchste Priorität zugewiesen.

O 16.8: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 16:15-16:30

Rohrpassivsammler – Innovation zur Überwachung von Wasserinhaltsstoffen

Jörg-Helge Hein¹

¹ GCI GmbH

Kontakt: joerg-helge.hein@gci-kw.de

Der Rohrpassivsammler (RPS®) ist eine innovative Messeinrichtung zur Untersuchung von Wasserinhaltsstoffen. Für die Messung wird eine Anreicherung der Analyten nach dem Grundprinzip der passiven Probennahme genutzt. Durch die Erzeugung eines gesteuerten Messwasserstroms wird die Kollektion optimiert und erreicht eine hohe Sensitivität.

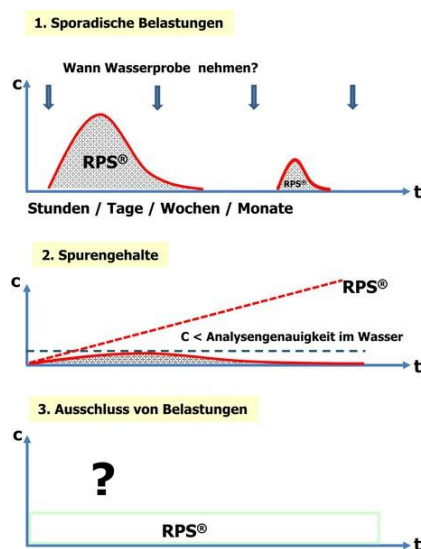


Abb. 1: Anwendungsmöglichkeiten des RPS

Aufgrund der sensiblen zeitintegrierten Messung ist der RPS® insbesondere für die Erfassung von Spurenstoffen und sporadisch auftretenden Belastungen im Wasser geeignet. Die Messungen werden vorab einmalig stoffspezifisch für die jeweiligen Zielsubstanzen kalibriert. Dadurch können die Ergebnisse nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ ausgewertet werden. So ist auch ein Negativnachweis durch den Ausschluss des Auftretens möglicher Verschmutzungen oberhalb der Sensitivitätsgrenze im Untersuchungszeitraum möglich.

Der RPS® kann an Brunnenförderströmen, autark in Grundwassermessstellen sowie an allen bewegten und unbewegten Wasservorkommen eingesetzt werden. Der RPS® wird bereits für eine dauerhafte Überwachung von Brunnenförderströmen einer Trinkwassergewinnung auf mögliche Belastungen durch sprengstofftypische Verbindungen genutzt. Für Untersuchungen in Grundwassermessstellen wurde ein Prototyp entwickelt und im Abstrom eines ehemaligen Gaswerksstandortes zur Erfassung von NSO-Heterozyklen erfolgreich getestet.

O 16.9: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 16:30-16:45

Detektion von Fe-Verockerungen in Filterkies mittels Magnetresonanzmessung

Christoph Weidner¹, Stephan Costabel², Müller-Petke Mike³, Georg Houben⁴

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover; jetzt: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV)

² Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin

³ Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover

⁴ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Kontakt: christoph.weidner@lanuv.nrw.de

Beim Betrieb von Brunnen in Fe-haltigem Grundwasser gehören die chemische und biologische Brunnenverockerung zu den häufigsten Alterungsprozessen, die einen starken negativen Einfluss auf die Effizienz von Grundwasserförderbrunnen haben. Um die Effizienz auch langfristig zu erhalten, werden in der Literatur neben chemischen und mechanischen Regenerierungsverfahren verockerter Brunnen auch technische Präventionsmaßnahmen (optimiertes Brunnendesign, spezielle Ausbaumaterialien) vorgeschlagen, um von vornherein die Entstehung von Verockerungen zu minimieren (Houben & Treskatis, 2012). Eine besondere Herausforderung ist es jedoch, die Wirksamkeit solcher Gegenmaßnahmen auch bis in den Verkiesungsbereich nachzuweisen. Während Kamerabefahrungen lediglich zur Begutachtung des Brunnenninneren genutzt werden können, kommt bisher einzig die Auswertung von Brunnenbetriebsdaten als Qualitätskontrolle in Frage.

Seit einigen Jahrzehnten wird die Methode der Nuklearmagnetischen Resonanzmessung (NMR) in den Geowissenschaften vor allem zur Ermittlung von Porenradienverteilungen in gesättigten porösen Medien eingesetzt. Jedoch wurden „Verunreinigungen“ mit Fe(III)-Hydroxidmineralen aufgrund deren paramagnetischer Eigenschaften dabei bisher stets als Störeinfluss angesehen (z.B. Keating & Knight, 2007). Mit dieser Studie (Costabel et al., 2017) soll nun der Versuch vorgestellt werden, diese Effekte durch grundlegende Untersuchungen systematisch zu quantifizieren und somit aus dem NMR-Signal Rückschlüsse auf Menge und Verteilung von Fe(III)-Hydroxidmineralen ziehen zu können. Dazu wurden an wassergesättigten Filterkiesen mit künstlichen oder natürlichen Verockerungen NMR-Experimente im Labormaßstab durchgeführt (Abb. 1).

Aus den NMR-Signalen der verockerten Kiese wurden Porositäten, Oberflächenrelaxivitäten und mittlere scheinbare Porenradien abgeleitet. Letztere korrelieren hinreichend mit experimentell aus Sieblinien berechneten effektiven Porenradien. Ebenso konnte eine Korrelation von aus NMR-Resultaten abgeleiteten k_f -Werten zu Werten nach Hazen nachgewiesen werden. Darüber hinaus konnte eine lineare Abhängigkeit der Oberflächenrelaxivitäten vom Fe(III)-Gehalt (für Fe(III) < 1 g/kg) ermittelt werden. Grundsätzlich erscheint es also möglich, mit der Anwendung der NMR-Methode direkt im Brunnen eine minimalinvasive, zerstörungsfreie Überprüfung der Wirksamkeit von Regenerierungsmaßnahmen oder aber auch Qualitätskontrolle von Präventivmaßnahmen gegen die Brunnenverockerung zu etablieren.

Als bohrlochgeophysikalische Methode werden NMR-Sonden bereits seit Jahrzehnten in der Kohlenwasserstoffexploration eingesetzt. Die Entwicklung erster Bohrlochsonden zur flachen Anwendung für die Charakterisierung von

Aquifereigenschaften in den letzten Jahren (z.B. Sucre et al., 2011, Knight et al., 2016) erscheint jedoch vielversprechend. Die Eignung dieser Technologie zur Detektion von Verockerungszonen an Brunnenfiltern soll in zukünftigen Versuchen evaluiert werden.

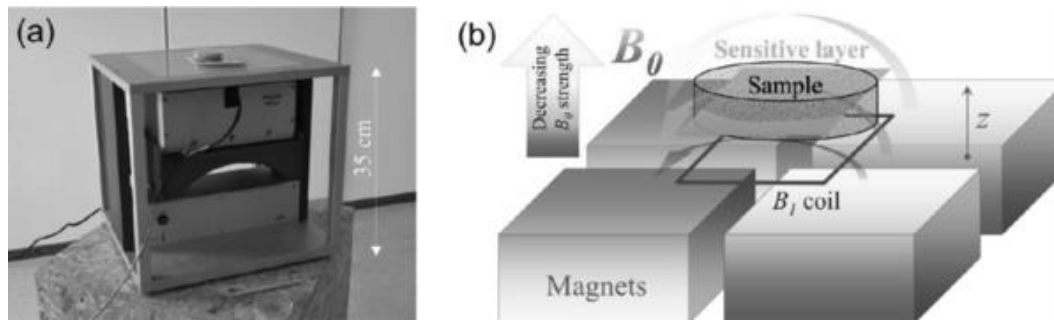


Abb. 1: (a) Messinstrument und (b) Lage der NMR-sensitiven Schicht im Probenkörper relativ zum Permanent-magnetfeld (B_0) und elektromagnetischer Spule (B_1)

Literatur

- Costabel, S., Weidner, C., Müller-Petke, M. & Houben, G. (2017): Hydraulic characterisation of iron oxide-coated sand and gravel based on nuclear magnetic resonance relaxation modes analysis. – Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., <https://doi.org/10.5194/hess-2017-364>, in review.
- Houben, G. & Treskatis, C. (2012): Regenerierung und Sanierung von Brunnen – Technische und naturwissenschaftliche Grundlagen der Brunnenalterung und möglicher Gegenmaßnahmen. – Oldenbourg Industrieverlag, München, 504 S.
- Keating, K. & Knight, R. (2007): A laboratory study to determine the effects of iron oxides on proton NMR measurements. – Geophysics 72(1), E27-E32, <https://doi.org/10.1190/1.2399445>.
- Knight, R., Walsh, D.O., Butler Jr., J.J., Grunewald, E., Liu, G., Parsekian, A.D., Reboulet, E.C., Knobbe, S. & Barrows, M. (2016): NMR logging to estimate hydraulic conductivity in unconsolidated aquifers, Groundwater 54(1), 104-114, doi:10.1111/gwat.12324.
- Sucre, O., Pohlmeier, A., Minière, A. & Blümich, B. (2011): Low-field NMR logging sensor for measuring hydraulic parameters of model soils. – J Hydrol 406, 30-38, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.05.045.

O 16.10: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 16:45-17:00

Energieeffizienter Betrieb von Brunnen im Heberbetrieb

Rico Bartak¹, Thomas Grischek¹

¹ Lehrgebiet Wasserwesen, HTW Dresden

Kontakt: rico.bartak@htw-dresden.de

Werden Brunnen zur Wasserentnahme an eine Heberleitung angebunden, kann Grundwassers aus einer Vielzahl von Einzelbrunnen gehoben und in einen Sammelbrunnen übergeleitet werden. Dabei wird der Wasserspiegel im Sammelbrunnen gegenüber den Einzelbrunnen abgesenkt, sodass nach Entlüftung der Heberleitung das Wasser selbständig in den Sammelbrunnen fließt. Von dort aus fördern leistungsfähige Pumpen das Wasser zum Wasserwerk. Die ersten Brunnenanlagen mit Heberbetrieb wurden Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts gebaut. Es entstanden zahlreiche Anlagen in Deutschland, Tschechien, Polen und Ungarn. Die altbekannte Hebertechnik ist in den letzten Jahrzehnten „aus der Mode gekommen“. Sie wurde durch den Einsatz moderner Unterwassermotorpumpen (UWMP) verdrängt. Der gestiegene Wasserbedarf und die erforderliche Leistungssteigerung bzw. der zunehmende Filtereintrittsverlust vieler Anlagen führte Mitte des 20. Jahrhunderts zu größeren Absenkungen und tieferliegenden Wasserständen. Die Brunnen waren damals mittels eines Hebers nicht mehr zu bewirtschaften und wurden deshalb auf Einzelbewirtschaftung umgestellt, da mit einer UWMP die erforderlichen Absenkungen und somit größere Förderleistungen erzielt werden konnten. Ein weiterer Grund für den Rückgang der Bedeutung des Heberbetriebs war das Fehlen exakter Nachweismöglichkeiten der Leistungsfähigkeit solcher Anlagen. An Standorten, an denen das Problem der sinkenden Wasserstände nicht bestand oder die Anlagen groß genug dimensioniert wurden, um auch heutigen Anforderungen zu genügen, werden immer noch Heberbrunnen betrieben.

Da der Heberbetrieb deutliche Vorteile gegenüber einzelbewirtschafteten Anlagen bietet und somit zur langfristigen Senkung des Energieverbrauchs beiträgt, sollte er unter bestimmten Umständen auch heute noch in Betracht gezogen werden. Durch den Einsatz von Hebern sind in der Theorie und in der Praxis Energieeinsparungen von bis zu 50 % im Vergleich zu einzelbewirtschafteten Brunnen mit UWMP erreichbar. Das Energieeinsparpotential ist hauptsächlich durch den höheren Wirkungsgrad der in den Sammelbrunnen einsetzbaren Kreiselpumpen begründet. UWMP weisen aufgrund der kompakten Bauweise einen deutlich geringeren Wirkungsgrad auf. Weiterhin werden Energieverluste durch Stromkabel, Trafos, Hydraulik, Frequenzumrichter und externe Verbraucher reduziert.

Im Rahmen des vom SMWK geförderten Forschungsprojektes „INTERDIS-2 Energiesparende Wassergewinnung in Trockenperioden (2016-2018)“ erfolgt zurzeit eine Darstellung des Energieeinsparpotentials von Heberbrunnenanlagen sowie die Schaffung einer Planungsgrundlage zur Dimensionierung und Sanierung von Hebern, von denen Wasserversorger, Planer und Fachleute profitieren sollen. Unterstützung erhält das Vorhaben durch die DREWAG Netz GmbH, die Kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH, die Stadtwerke Arnsberg GmbH und den Zweckverband Landeswasserversorgung Stuttgart. Vorgestellt wird ein kostenloses Softwaretool zur hydraulischen Berechnung und Dimensionierung von Hebern.

O 16.11: Vortragsreihe 1, 23.03.2018, 17:00-17:15

Einfluss zunehmender Urbanisierung auf die Grundwasserneubildung: Fallbeispiel Dübendorf (Nordschweiz)

Morgane Minnig¹, Christian Moeck², Dirk Radny², Mario Schirmer²

¹ EPFL – Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne

² Eawag – Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

Kontakt: christian.moeck@eawag.ch

Die Kenntnis von Grundwasserneubildungsraten ist ein entscheidender Faktor für ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement. Jedoch sind Grundwasserneubildungsraten und deren zeitliche Veränderungen als Funktion von zunehmender Urbanisierung weitgehend unbekannt und unzureichend verstanden. In dieser Studie wurde deshalb der Einfluss von zunehmender Urbanisierung auf die Grundwasserneubildung für das Untersuchungsgebiet Dübendorf (Nordschweiz) untersucht. Die Landnutzung in der Gemeinde Dübendorf ist im Laufe des letzten Jahrhunderts stark durch das Wachstum der Metropolregion Zürich beeinflusst worden und die urbanen Flächenanteile nahmen stark zu. Für die Gemeinde Dübendorf wurde eine Wasserbilanzrechnung für vier verschiedene Zeitperioden (Jahre 1880, 1955, 1980 und 2009) mit den jeweiligen Landnutzungstypen durchgeführt. Es wurden basierend auf historischen und aktuellen Landnutzungskarten insgesamt vier Landnutzungsklassen definiert. Um die Heterogenität dieser Landnutzungsklassen in Betracht zu ziehen, waren zusätzlich fünf Untergruppen festgelegt. Für jede dieser Landnutzungsklassen wurde die aktuelle Evapotranspiration, der Oberflächenabfluss sowie der Wasseraustritt im Trink- und Abwassersystem berechnet. Anschliessend wurde mittels einer Wasserbilanzrechnung die Veränderung der Grundwasserneubildung für die vier Zeitperioden bestimmt. Aufgrund bekannter Unsicherheiten in den Eingangsparametern der Wasserbilanzrechnung wurde zudem eine Unsicherheitsanalyse mittels Monte-Carlo Ansatz durchgeführt. Unsere Studie ergab eine starke positive Korrelation zwischen Grundwasserneubildungsrate und Anteil an urbaner Landnutzung. Im Untersuchungsgebiet stieg der Anteil der urbanen Landnutzung von 6 % im Jahr 1880 auf 44% im Jahre 2009. Aufgrund von verschiedenen möglichen Modellparameterkombinationen lag die Grundwasserneubildungszunahme zwischen 29% und 67% im Vergleich zum Jahr 1880. Basierend auf der durchgeführten Wasserbilanzrechnung lässt sich allgemein festhalten, dass aus der Umgestaltung von Naturlandschaften zu vorwiegend urbanen Gebieten eine Abnahme der Evapotranspiration resultiert, welche die Zunahme im Oberflächenabfluss mehr als kompensiert. Eine weitere relevante Ergänzung der Grundwasserneubildung in urbanen Gebieten erfolgt durch undichte Leitungen des Trink- und Abwassersystems.

Literatur

Minnig, M., Moeck, C., Radny, D. & Schirmer, M. (2017): Impact of urbanization on groundwater recharge rates in Dübendorf, Switzerland. *Journal of Hydrology*.

Poster

P 16.1

Erweiterung des Anwendungsbereiches der k_f -Wert-Berechnungsformel nach BEYER & SCHWEIGER (1969)

Thomas Grischek¹, Sebastian Paufler¹, Kerry F. Paul², Britta Weber¹

¹ Lehrgebiet Wasserwesen, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

² IBB Ingenieur- und Beratungsbüro für Brunnenbetriebstechnik und -instandhaltung GmbH

Kontakt: thomas.grischek@htw-dresden.de

Zur Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwerts k_f der Einzelschichten in Lockersedimenten auf Grundlage von Korngrößenuntersuchungen sind mehr als 50 Formeln verfügbar. Während die Berechnungsansätze meist ähnlich sind, werden verschiedene Parameter in die Berechnung einbezogen oder vernachlässigt (Lagerungsart, Formeigenschaften, Ungleichkörnigkeit). In der Praxis werden zudem häufig die Gültigkeitsgrenzen ignoriert. Eine bisher unbeachtete Sonderstellung stellt dabei der Anteil $\leq 0,063$ mm dar, der in jeder Sedimentprobe vorhanden ist.

Die Autoren favorisieren die Nutzung der Formel von Beyer & Schweiger (1969), da hier im Unterschied zu der von Hazen (1893) und Beyer (1964) auch die Lagerungsart „dicht“ berücksichtigt wird, die allerdings für den Anteil $\leq 0,063$ mm einer Korrektur bedarf.

Im Zeitraum 2016-2017 wurden dazu an der HTW Dresden Laborversuche zur Ermittlung der Durchlässigkeit einer gleichbleibenden Sedimentprobe mit variablen Feinanteilen $\leq 0,063$ mm durchgeführt. Die Untersuchungen basieren auf Praxiserfahrungen von K.F. Paul und sollten die von Netzker (2014) in Berlin begonnene systematische Untersuchung von 0 % bis 10 % Feinanteil in einer Sedimentprobe mit ca. 2/3 Feinsand und 1/3 Mittelsand validieren und erweitern.

Die k_f -Wert-Bestimmung erfolgte im Labor mittels Messungen nach DIN 18130 - 1 im Versuchszylinder bei einem konstanten hydraulischen Gefälle sowie aus der Kurve zur Bestimmung des Proportionalitätsfaktors C in Abhängigkeit der Lagerungsart und C_u nach Beyer & Schweiger (1969) mit der Koeffizientenbestimmung nach Paul für 0 % bindigen Anteil. Einer in der Korngrößenverteilung konstanten Sedimentprobe wurden in 1 %-Schritten Feinstanteile $\leq 0,063$ mm bis 10 % der Gesamtmasse zugegeben.

Die Ergebnisse der Laborversuche bei lockerer und dichter Lagerungsart zeigen, dass die Anwesenheit von Anteilen $\leq 0,063$ mm einen maßgeblichen Einfluss auf den k_f -Wert hat.

Die Ergebnisse der unabhängig voneinander durchgeführten Versuche in Berlin und Dresden beweisen, dass die Berechnungsformel nach Beyer & Schweiger (1969) bei der Anwesenheit bindiger Anteile zu hohe k_f -Werte liefert. Die Ergänzung der B&S-Berechnungsformel um einen Korrekturfaktor α in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte und des Anteils $\leq 0,063$ mm ist ein praktikabler Ansatz.

Kritisch ist zu vermerken, dass die (aufwändigen) Versuche bisher nur mit einem Feinsand dominierten Sediment durchgeführt wurden und auch die Zusammensetzung des Feinanteils (mehr Ton als Schluff bzw. umgekehrt) die Wirkung bzgl. der Veränderung der Durchlässigkeit bestimmt. Die Übertragbarkeit der ermittelten Korrekturfaktoren auf andere Sedimentproben wird im Winter 2018 geprüft, bevor über die Weiterführung der Versuchsreihen mit anderen Randbedingungen und Sedimentzusammensetzungen entschieden wird. Der Ansatz der Einführung von Korrekturfaktoren für die k_f -Berechnung nach Beyer & Schweiger ist jedoch praxisnah und für die Abschätzung des k_f -Werts zur Bemessung von Brunnen, Versickerungsanlagen u.v.m. nützlich.

P 16.2

Groundwater Development in North-Eastern Germany as deduced from the hydrogeochemical and stable isotopic composition of selected drinking waters

Anna-Kathrina Jenner¹, M.E. Böttcher¹, I. Schmiedinger¹, M. Voss¹, G. Böttcher², B. Schwerdtfeger²

¹ Sektion Marine Geologie, Institut für Ostseeforschung

² LUNG Güstrow

Kontakt: anna.jenner@io-warnemuende.de

The evolution of ground waters in Mecklenburg-Vorpommern (MV; North-Eastern Germany) one of the catchment areas for the Baltic Sea, is controlled by different natural and anthropogenic factors. In the present study the hydrochemical and stable isotope (H, C, N, O, S) composition of shallow and deep ground waters was investigated. A mass balance approach is combined with physico-chemical modeling to define the mineral dissolution/precipitation potential as well as the processes taking place during the ground water development.

The dissolved inorganic carbon system of the ground waters is found to be controlled by the dissolution of biogenic carbon dioxide, the dissolution of (marine) carbonates and oxidation of anthropogenically introduced DOC and at a few sites biogenic methane. The sulfur isotope composition of dissolved sulfate indicates the substantial impact from the oxidation of sedimentary pyrite using oxygen or nitrate as electron acceptor at a number of settings. The nitrogen and oxygen isotope composition of dissolved nitrate indicate its origin as well as further microbial superimposition. The combined results are the base for a quantitative reaction path analysis.

P 16.3

Vorkommen von organischen Spurenstoffen (Arzneimittel, Pestizide) im Grundwasserleitern in Nordrhein-Westfalen

Osman Can Kandemiroglu¹, Frank Wisotzky

¹ Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: osman.kandemiroglu@rub.de

Nordrhein-Westfalen weist als bevölkerungsreichstes (rund 18 Millionen Einwohner) Bundesland den weitaus höchsten Trinkwasserbedarf in der Bundesrepublik auf. Für die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser werden in NRW jährlich ca. 1,12 Mrd. m³ Wasser aus ober- und unterirdischen Vorkommen gewonnen. Der überwiegende Teil des Trinkwassers (annähernd 85%) wird in Nordrhein-Westfalen aus Grundwasser oder Wässern mit Grundwasseranteilen bereitgestellt, insbesondere in der Niederrheinischen Bucht und im Münsterland [1].

Immer neue organische Spurenstoffe (Arzneimittel, Pestizide) tauchen in großer Mengen in Oberflächengewässern, Grundwasser- und Trinkwasserproben auf und damit gefährden sie Trinkwasserressourcen und die Umwelt [2, 3, 4]. Arzneimittel (z.B. Carbamazepin, Diclofenac, Ibuprofen, Östrogenhormone (z.B. 17 α -Ethinylestradiol, 17 β -Östradiol), Röntgenkontrastmitteln (z.B. Iopromid, Iopamidol, Iomeprol), Tierarzneimittel (z.B. Sulfonamide)) [5] und Pestizide (z.B. Atrazin, Bromacil, Chloridazon und deren Metabolite, Dimethylsulfamid) haben eine zunehmende Bedeutung in Grundwasserleitern, die für die Wassergewinnung in Nordrhein-Westfalen genutzt werden.

In den letzten Jahren wurde in wenigen Studien die Umweltrelevanz von Arzneimitteln untersucht (ERAPharm, Knappe, Pills, Pharmas, Poseidon). Es liegen jedoch noch Erkenntnislücken zum Verhalten dieser Stoffe im Grundwasserleiter und bei der Trinkwasseraufbereitung vor. Diese Lücken sollen im Rahmen dieses Projektes geschlossen werden. Dabei wird neben einer Literaturrecherche die Belastungssituation in Nordrhein-Westfalen anhand der vorhandenen Daten gesichtet und vertiefend ausgewertet. Anschließend soll in Kooperation mit Wasserversorgungsunternehmen in Nordrhein-Westfalen das Auftreten der organischen Spurenstoffe (Arzneimittel, Pestizide) in Grundwasserleitern, die zur Trinkwasserbereitstellung genutzt werden, untersucht werden. Daraus soll eine Beschreibung zum Auftreten und Verhalten dieser Stoffe in den bearbeiteten Aquiferen abgeleitet werden.

Literatur

- [1] LANUV (2013): LANUV-Daten aus der WasEG-Erhebung. https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/wasser/wasserversorgungstrinkwasser/trinkwasserressourcen_herkunft_des_trinkwassers/
- [2] UBA (2014): Arzneimittel in der Umwelt – vermeiden, reduzieren, überwachen. Hintergrundpapier. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/arzneimittel-in-der-umwelt-vermeiden-reduzieren>
- [3] LANUV (2007): Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie. Fachbericht 2. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen Recklinghausen 2007. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30002.pdf
- [4] UBA (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin/Dessau-Roßlau. Forschungskennzahl 36014013. UBA-Texte 66/2011. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/zusammenstellung-von-monitoringdaten-zu>
- [5] UBA (2014): Antibiotika und Antiparasitika im Grundwasser unter Standorten mit hoher Viehbesatzdichte. – FuE-Bericht (FKZ 3711 23 225) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin/Dessau-Roßlau, UBA-FB 001897. www.umweltbundesamt.de/publikationen/antibiotika-antiparasitika-im-grundwasser-unter

P 16.4

Quantitative Ansätze für ein modell-basiertes Risikomanagement bei der Uferfiltration in hydraulisch und hydrogeochemisch heterogenen Aquifersystemen

Dustin Knabe¹, Hans-Peter Rohns², Christian Griebler³, Alberto Guadagnini⁴, Björn Droste², Irina Engelhardt¹

¹ Fachgebiet Hydrogeologie, Technische Universität Berlin

² Stadtwerke Düsseldorf

³ Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

⁴ Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano

Kontakt: dustin.knabe@tu-berlin.de

Uferfiltration ist eine wichtige Methode in Deutschland zur Trinkwassergewinnung. Auf Grund geringer Verweilzeiten sowie einem hohen Eintrag von pathogenen Bakterien und Viren aus Kläranlagen und Landwirtschaft in Oberflächengewässern sind diese auch auf dem Grundwasserpfad anzutreffen. In Abhängigkeit von den Eigenschaften des porösen Mediums können diese beim Transport durch die gesättigte Zone aus der mobilen Wasserphase entfernt werden. Aktuell ist der Transport von Viren im Grundwasserleiter besonders in Verbindung mit der Inaktivierung von Viren und unter hoch dynamischen Feldbedingungen noch unzureichend erforscht und prognostizierbar. Ziel dieses Projektes ist es ein prozessbasiertes Modell zur Risikoabschätzung des Transports von pathogenen Viren bei der Uferfiltration in hydraulisch und hydrogeochemisch heterogenen Aquiferen zu erstellen. Dabei wird ein mehrskaliger Ansatz verwendet, um die Schlüsselprozesse und Einflüsse auf den Virentransport zu bestimmen. Die wichtigsten Parameter zur Inaktivierung und Sorption von pathogenen Viren werden in kontrollierten kleinskaligen Säulenversuchen identifiziert und deren Einfluss quantifiziert. Das Transportverhalten unter kontrollierten Randbedingungen jedoch feldnahen Bedingungen, z.B. feldtypische Fließgeschwindigkeiten, wird mittels mesoskaliger Säulenversuche (2 m) analysiert. Schließlich wird ein 1-jähriges Monitoring an einem Wasserwerk, welches seit Jahrzehnten Uferfiltration betreibt, durchgeführt um die Laborbefunde auf der Feld-skala zu überprüfen. Basierend auf einem 2- und 3-dimensionalen Modell wird schließlich mittels Unsicherheitsanalyse ein neuartiges Monitoringkonzept für die Vorhersage und Risikoabschätzung des Transports von partikularen Stoffen in natürlichen Aquifersystemen abstrahiert.

P 16.5

Tracerversuch zur Untersuchung von Karsteinzugsgebieten bei Sigmaringen (Schwäbische Alb)

Paul Knöll¹, Traugott Scheytt¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Berlin

Kontakt: paul.knoell@tu-berlin.de

Eine genaue Kenntnis der Einzugsgebiete von Wasserfassungen und den lokalen Grundwasserströmungsverhältnissen sind Grundlage für einen effektiven Schutz von Trinkwasserreserven. Die Ermittlung der vorherrschenden Bedingungen kann aber unter komplexen geologischen Voraussetzungen sehr schwierig sein. Dies trifft besonders auf Wasserfassungen in Karsteinzugsgebieten und im Bereich von Störungszonen zu. Tracerversuche können in derartigen Gebieten wertvolle Informationen liefern, die anders nicht, oder nur schwierig zu gewinnen sind (Leibundgut et al., 2009).

Im Karsteinzugsgebiet der ehemals Hohenzollernschen Wasserversorgung in Sigmaringen am Südrand der Schwäbischen Alb wurde ein Tracerversuch durchgeführt. Dabei wurde Uranin außerhalb des oberflächlichen Einzugsgebiets einer Quelle, die zur Wasserversorgung genutzt wurde, in die ungesättigte Zone eingegeben. Die Quelle, sowie weitere beobachtete Quellen liegen im Bereich der Grabenrandstörung eines tektonischen Grabens. Ziel der Untersuchungen war zu klären, ob die beobachteten Quellen aus Gebieten jenseits des oberflächlichen Einzugsgebiets gespeist werden, sowie Informationen über Strömungsgeschwindigkeiten und die hydraulische Anbindung der wasserungesättigten Zone an den Grundwasserleiter im Bereich der Störung zu erhalten.

Die Verbindung der Eingabestelle zu drei benachbarten Quellen konnte klar nachgewiesen werden. Es wurden maximale Abstandsgeschwindigkeiten von 76,3 bis 81,8 m/h ermittelt. Dominante Abstandsgeschwindigkeiten lagen im Bereich von 51,3 bis 57,8 m/h. Die gesamte Wiederfindung des Markierungsstoffs an allen Quellen lag bei 39,8% der eingegebenen Masse. Damit wurde nachgewiesen, dass sich die Quelleinzugsgebiete klar von den oberflächlichen Einzugsgebieten unterscheiden. Zusätzlich wurde eine Trennung der Quelleinzugsgebiete von weiteren benachbarten Quellen deutlich, an denen kein Tracerdurchbruch festgestellt werden konnte.

Literatur

Leibundgut, C., Maloszewski, P. & Külls, C. (2009): Tracers in hydrology. Chichester: Wiley-Blackwell. ISBN 978-0-470-51885-4.

P 16.6

Modellierung von unter Tagebaueinfluss zeitlich verschwenkenden Einzugsgebieten von Grundwasserwerken im Rheinischen Braunkohlerevier

Dietmar Schäfer¹, Daniel-Phillip Nienstedt¹, Dorothee Levacher²

¹ GCI GmbH

² LANUV NRW

Kontakt: dietmar.schaefer@gci-kw.de

Für die Ausweisung von Wasserschutzgebieten für Grundwasserfassungen bildet die Kenntnis der Ausdehnung der unterirdischen Einzugsgebiete eine wesentliche Entscheidungsgrundlage. Die Berechnung der Einzugsgebiete erfolgt dabei häufig durch die Anwendung von Grundwassermodellen. Bei hier üblicherweise stationär durchgeführten Modellrechnungen werden für die hydraulischen Randbedingungen langjährige Erwartungswerte zeitlich konstant angenommen. Eine solche Betrachtung basiert auf der vereinfachenden Annahme einer langjährigen Unveränderlichkeit des Strömungsraumes.

Geraten die Einzugsgebiete jedoch in den hydraulischen Einflussbereich von Großtagebauen, so müssen für eine fachliche belastbare Prognose der Einzugsgebiete instationäre Verhältnisse berücksichtigt werden. Durch die über Jahrzehnte örtlich wandernden Sümpfungsareale, die Veränderung der Strömungsbedingungen durch Abbaggerung und Kippenbildung sowie durch den langjährigen Prozess des Grundwasserwiederanstiegs mit Restseebildung werden die Grundwasserströmungsverhältnisse über Jahrzehnte von einer Dynamik geprägt, die sich auch in deutlichen zeitlichen Veränderungen von Lage und Ausdehnung der Einzugsgebiete benachbarter Wasserfassungen niederschlagen kann. Die Anwendung des stationären Berechnungsansatzes würde dann dazu führen, dass sowohl Gebiete unter Schutz gestellt werden würden, aus denen tatsächlich nie Wasser der Fassung zuströmen wird, als auch dass Gebiete nicht erfasst würden, die zeitweilig tatsächlich im Einzugsgebiet der Fassung liegen werden.

Die beschriebene Situation trifft auch auf Wasserwerke im hydraulischen Einflussbereich der Tagebaue im Rheinischen Braunkohlerevier zu. Mit dem von GCI im Auftrag des LANUV instationär kalibrierten und betriebenen Grundwassermodell „Rheinisches Braunkohlerevier“ sind Simulationen der Grundwasserströmung im Zeitraum

1975-2200 möglich. Unter Anwendung dieses Modells wurden jeweils ausgehend von acht Wasserefassungen Anstrombahnlinien instationär entgegen der Strömungsrichtung berechnet. Der Start der Bahnlinien erfolgte im Untersuchungszeitraum 1975-2200 in jährlichem Abstand, so dass für jedes Jahr aus der Bahnliniengestaltung ableitend ein Einzugsgebiet ermittelt werden konnte, das die Veränderlichkeit der Strömungsverhältnisse seit Simulationsbeginn kumulativ berücksichtigt. Durch die Überlagerung dieser jährlichen Einzugsgebiete kann das im Zeitraum des Tagebau-Einflusses erfasste zeitlich kumulative Gesamteinzugsgebiet als das aus rein hydraulischer Sicht betrachtenswerte Gebiet dargestellt werden. Für künftig mögliche Neuausweisungen sind auf dieser Grundlage auch die Fließzeiten aus den jeweiligen Arealen in die Betrachtung einzubeziehen.

P 16.7

Energieeffizienter Betrieb von Brunnengruppen

Thomas Voltz¹, Michel Monse¹, Thomas Grischek¹

¹ Lehrgebiet Wasserwesen, HTW Dresden

Kontakt: thomas.voltz@htw-dresden.de

Die Fernwasserversorgung Sdier bei Bautzen versorgt Teile der Oberlausitz, darunter die Städte Bautzen und Löbau, mit Trinkwasser über zwei große Fernleitungen mit mehreren Druckstufen. Die Rohwasserfassung Spreewiese, die in der Nähe der Spree befindet, liefert Grundwasser aus Vertikalfilterbrunnen. Die Kapazität des Systems wurde im Laufe der Zeit reduziert, so dass viele Brunnen inzwischen außer Betrieb genommen wurden und heute nur noch 15 Brunnen betrieben werden. Diese sind in drei Staffeln aufgeteilt, wobei 6, 5 bzw. 4 Brunnen über Sammelleitungen zusammengefasst sind. Um den aktuell benötigten Durchfluss von 400 bis 500 m³/h bereitzustellen, müssen 4 oder 5 Brunnen parallel laufen. Aktuell werden die Brunnen nach dem klassischen Betriebsstundenausgleich betrieben, d. h. es werden immer die 4 bzw. 5 Brunnen betrieben, die am Anfang des nächsten Schaltzyklus den geringsten Wert auf dem Betriebsstundenzähler aufweisen. Dies erfolgt somit ohne Berücksichtigung der hydraulischen Kopplung der Brunnen untereinander und der Energieeffizienz der einzelnen Brunnen. Dies ist typisch in der Praxis der Trinkwasserversorgung und birgt großes Verbesserungspotential, indem die optimale Kombination der Einzelbrunnen genutzt wird, um eine hohe Energieeffizienz zu erreichen.

Um abschätzen zu können, ob sich eine vertiefte hydraulische Analyse lohnt, wurde ein statistischer Ansatz entwickelt, um die Energieeffizienz unterschiedlicher Brunnenkombinationen zu erfassen. Aufgrund des guten Datenbestandes der FWV Sdier mussten keine zusätzlichen Messungen durchgeführt werden. Daten aus dem Prozessleitsystem zum Durchfluss, Druck und Wasserstand der Brunnen sowie der Messschächte (Knoten der Sammelleitungen) wurden in Excel importiert. Energieverbrauchsdaten werden als 15-Minuten-Werte kostenlos vom Stromnetzbetreiber zur Verfügung gestellt. So konnte für Hunderte Brunnenkombinationen der spezifische Energiebedarf in kWh/m³ ermittelt werden.

Die Ergebnisse wurden validiert, indem eine der besten und eine der schlechtesten Kombinationen ungestört 168 h betrieben wurden, in Abweichung vom klassischen Betriebsstundenausgleich. Diese zeigten Werte von 0,156 kWh/m³ bzw. 0,182 kWh/m³. Die maximal mögliche Einsparung durch bevorzugten Betrieb dieser günstigsten Kombination im Gegensatz zu der ungünstigsten Kombination wurde abgeschätzt, indem die Jahresmenge von ca. 4,8 Mio. m³ angesetzt wurde. Diese ergab 22.000 €/a bzw. 18% der Gesamtstromkosten der Rohwasserfassung und würde keinerlei Kapitalinvestition benötigen. Im Ergebnis wurden Vorschläge erarbeitet, welche Brunnenkombinationen mit welcher jeweiligen Betriebsstundenanzahl betrieben werden können und welche Einsparung dabei erreicht wird.

Im Beitrag werden die Übertragung des Konzepts auf einen zweiten Standort bei Eisenhüttenstadt sowie Ansätze zur langfristigen Automatisierung dieser neuen Betriebsweise als Ersatz für den herkömmlichen Betriebsstundenausgleich vorgestellt.

17 Wasserwiederverwendung zur Grundwasseranreicherung

Vorträge

O 17.1: Vortragsreihe 1, 24.03.2018, 11:00-11:15

Reactive Transport Modelling of Emerging Contaminants Attenuation by using the Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART 2.0)

Alicia Sanz-Prat¹, Janek, Greskowiak¹, Sema Karakurt², Uwe Hübner², Jörg E. Drewes², Gudrun Massmann¹

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institute of Biology and Environmental Sciences, Working Group Hydrogeology and Landscape Hydrology, D-26111 Oldenburg, Germany

² Chair of Urban Water Systems Engineering, Technical University of Munich, Am Coulombwall 3, 85748 Garching, Germany
Kontakt: alicia.sanz.prat@uni-oldenburg.de

Many emerging organic contaminants present in surface water and pre-treated wastewater aimed for managed aquifer recharge (MAR) are mobile and may persist in groundwater for long times. A better understanding of the degradation behaviour (e.g. redox-sensitivity) of certain emerging contaminants [1] could improve the simulations of their fate and transport under specific conditions during the MAR operation. In this sense, the sequential managed aquifer recharge technology (SMART 2.0) introduces a novel and low-energetic approach to foster the removal of organic emerging contaminant compounds by setting a sequence of redox-zones coupled with the presence of biodegradable dissolved organic matter (BDOC) in the injected water [2,3]. In order to validate the SMART 2.0 at demo-scale, a tracer-test is performed by injecting 20 trace organic compounds (TOC's) dissolved in pre-treated wastewater into a sandy tank, with a total volume of 7.26 m³. The sequential treatment steps within the tank mimic the river-bank filtration passage, re-aeration, and subsequent artificial recharge [4]. In this study, we present the assessment of a 3-dimensional numerical model simulating the observed fate and behaviour of the TOC's (e.g. pharmaceuticals, personal care, and disinfection by-products, among others) during the tank passage. This study aims at identifying (i) the physical and biogeochemical processes controlling the operation of the SMART 2.0 Tank; (ii) the spatial and temporal variability of reaction rates under certain redox conditions and BDOC availability; (iii) as well as, the key groundwater reactive transport parameters. For that purpose, the reactive system accounts for sorption and nonlinear kinetic biodegradation competing for the depletion of TOC's concentration in groundwater [5]. Numerical outcomes are computed by a deterministic approach of the advective-dispersive-reactive equation (ADR), derived from the PHT3D model.

References

- [1] Burke, V., Duennbier, U. & Massmann, G. (2013): The effect of aeration on the removal of wastewater-derived pharmaceutical residues from groundwater – a laboratory study - *Water Science & Technology*, 67 (3) 658-666.
- [2] Regnery, J., Wing, A.D., Kautz, J. & Drewes, J.E. (2016): Introducing sequential managed aquifer recharge technology (SMART) – From laboratory to full-scale application - *Chemosphere*, 154, 8 -16.
- [3] Hellauer, K., Mergel, D., Ruhl, A.S., Filter, J., Hübner, U., Jekel, M. & Drewes, J. (2017): Advancing Sequential Managed Aquifer Recharge Technology (SMART) Using Different Intermediate Oxidation Processes. *Water*, 9, 221.
- [4] Hübner, U., Gallegos, J., Karakurt, S., Zhiteneva, V., Hellauer, K. & Drewes, J.E. (2017): Development of a treatment concept based on technically modified hybrid filtration systems for indirect potable reuse - Submitted Abstract World Water Congress & Exhibition 2018, Tokyo.
- [5] Burke, V., Greskowiak, J., Asmuss, T., Bremermann, R., Taute, T. & Massmann, G. (2014): Temperature dependent redox zonation and attenuation of wastewater-derived organic micropollutants in the hyporheic zone - *Science of the Total Environment*, 482-483, 53-61.

Dezentrale, kombinierte Versickerung von Regen- und gereinigten Abwässern – Machbarkeit und grundlegende Planung

Falk Händel¹, Stephan Klotzsch¹, Christian Engelmann¹, Thomas Fichtner¹, Peter-Wolfgang Gräber¹, Claudia Kuke², Rudolf Liedl¹, Bernd Märtner³

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, Bergstraße 66, 01069 Dresden

² Bergmann Beton + Abwassertechnik GmbH, Am Zeisig 8, 09322 Penig

³ M&S Umweltprojekt GmbH, Pfortenstraße 7, 08527 Plauen

Kontakt: christian.engelmann@tu-dresden.de

In ländlichen Regionen erweist sich die dezentrale Entsorgung anfallender Abwässer gegenüber einer zentralen Entsorgung häufig als die wirtschaftlichere, nachhaltigere und flexiblere Lösung. Dieser Effekt kann regional auch durch den demographischen Wandel verstärkt sein. Bei der dezentralen Entsorgung kommt der direkten Versickerung von gereinigtem Abwasser, insbesondere in Regionen ohne geeignete Vorflut, eine wichtige Rolle zu. Gleichzeitig gewinnt die dezentrale Regenwasserversickerung zur Stärkung des lokalen Wasserhaushaltes und damit als Anpassungsstrategie an den Klimawandel zunehmend an Bedeutung. Sowohl für die Versickerung von Regen- als auch (gereinigten) Abwässern werden vergleichbare technische Lösungen eingesetzt. Zur Verringerung des Aufwandes von Tiefbauarbeiten, sowie der Minimierung des für die jeweiligen Systeme notwendigen Platzbedarfs ist eine kombinierte Versickerung vorteilhaft. Gleichzeitig wird der Untergrund als Reaktionsraum für eine weitergehende Nachreinigung des infiltrierten Wassers aus dezentralen Reinigungsanlagen genutzt. Hierbei müssen jedoch einige Aspekte, wie der notwendige Retentionsraum für ein 5-jährliches Regenereignis von 15 Minuten Dauer, die Einhaltung von Mindestaufenthaltszeiten des Abwassers in der belebten Bodenzone, wie auch der störungsfreie Betrieb der Abwasserversickerung während eines Bemessungsregenereignisses beachtet werden.

Zur Beantwortung der oben genannten Fragen wurden im Rahmen eines von der Sächsischen Aufbaubank geförderten Forschungsprojektes zum einen modelltechnische Berechnungen mittels Hydrus 3D auf Basis der Bemessung nach DWA A 138 und zum anderen laborative Säulenversuche zur Stützung der Berechnungen durchgeführt. Für diese Versuche wurden vier jeweils 1,5 m lange Säulen mit Sedimenten von vier repräsentativen Standorten gefüllt und mit gereinigtem Abwasser einer Gruppenkleinkläranlage beaufschlagt. Durch seitliche Probenahmeports konnte der Abbau organischer Verbindungen, repräsentiert durch den Summenparameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), sowie den relevanten Stickstoffverbindungen verfolgt werden.

Die Zielsetzung der Versuche war die Erreichung eines eingefahrenen Zustands zur Bewertung des langfristigen Reinigungspotentials der ungesättigten Zone. Diese Ergebnisse wurden in die modellhafte Bewertung der kombinierten Versickerung eingepflegt. Diese beinhaltete die Untersuchung der Aufenthaltszeiten während eines Bemessungsregens für unterschiedliche hydraulische und hydrogeologische Bedingungen.

Erste Ergebnisse zeigen das hohe Nachreinigungspotential der belebten Bodenzone, sowie die Notwendigkeit einer geringen Modifikation der Bemessung der Regenwasserversickerung.

Zum Nutzungspotential der Wasserwiederverwendung auf der Arabischen Halbinsel

Tilman Mieseler¹, Heiko Dirks¹

¹ Dornier Consulting International

Kontakt: tilman.mieseler@dornier-consulting.com

In ariden Gebieten kann die Wiederverwendung von geklärtem Abwasser entscheidend zur Schonung der (fossilen) Grundwasserressourcen beitragen. Während noch vor einem Jahrzehnt die meisten Häuser eine Klärgrube hatten, wurden mit der rapiden Entwicklung der Abwasserinfrastruktur in den letzten Jahren die Rahmenbedingungen geschaffen, das anfallende Abwasser zu sammeln und nach internationalem Stand der Technik aufzubereiten.

Eine weitere und entscheidende Rolle zur sinnvollen Wiederverwendung spielt die Zwischenspeicherung im Aquifer: (Saisonale) Unterschiede zwischen Abwasseranfall und Nachfrage nach geklärtem Wasser können gepuffert, und vor allem können Qualitätsverbesserungen (Mikrobiologie, Nitrat) erzielt werden. Des Weiteren hilft die Zwischenspeicherung, evtl. vorhandene Vorbehalte gegenüber dem „immer noch“ Abwasser zu entkräften. Nutzer sind vor allem die Landwirtschaft, Parks/Grünanlagen, District-Cooling-Anlagen sowie bestimmte Industrien, z.B. Kraftwerke, die das Wasser zum Kühlen verwenden, oder Mininggesellschaften, die Prozesswasser benötigen.

Die gezielte Nutzung des geklärten Abwassers, am besten mit Zwischenspeicherung im Aquifer, ist in der nahen Zukunft eine der großen hydrogeologischen Herausforderungen auf der Arabischen Halbinsel. Saudi Arabien nutzt derzeit erst 17% seines aufbereiteten Abwassers. Bis 2030, so die „Saudi Vision“, sollen es 100% sein.

In weiteren Projekten zur Wasserwiederverwendung auf der Arabischen Halbinsel beschäftigt sich Dornier Consulting International seit mehr als 15 Jahren mit der Speicherung von entsalztem Meerwasser in oberflächennahen Aquiferen der Vereinigten Arabischen Emirate. Das gespeicherte Trinkwasser dient zum einen der Wasserversorgung im Notfall, z.B. bei Ausfall von Entsalzungsanlagen, Pumpstationen oder Pipelines. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Pufferung von Spitzenbedarfen.

Mit gleich mehreren Initiativen, aufgehängt im National Transformation Plan, fördert das Königreich Saudi Arabien derzeit massiv die Wiederverwendung gereinigten Abwassers und die Umsetzung alternativer Konzepte zur Verbesserung der zukünftigen Wasserversorgung.



Abb. 1: Grundwasseranreicherung im Arab Aquifer südlich von Riyadh, Saudi Arabien (aufbereitetes Abwasser stürzt in Doline)

Poster

P 17.1

Ermittlung optimaler Bedingungen für die Minimierung von Kolmationsprozessen während des Betriebes von Infiltrationsbecken zur künstlichen Grundwasseranreicherung

Thomas Fichtner¹, Felix Barquero¹, Catalin Stefan¹

¹ *Nachwuchsforscherguppe INOWAS, Fakultät Umweltwissenschaften, TU Dresden*

Kontakt: thomas.fichtner@tu-dresden.de

Die künstliche Grundwasseranreicherung stellt eine wirksame Methode dar, um vielfältigen wasserbezogenen Problemen wie Wasserknappheit in Trockenzeiten, Grundwasserverarmung und Salzwasserintrusion entgegenzuwirken. Beim Betrieb solcher Systeme kommt es durch die im infiltrierten Wasser enthaltenen suspendierten Feststoffe und

das Wachstum von Biomasse zur Reduzierung des Bodenporenraumes und somit zur Verringerung der Infiltrationskapazität. Diese sogenannten Kolmationsprozesse sind abhängig von standortspezifischen Bedingungen wie zum Beispiel Bodeneigenschaften, Klima und Wasserqualität sowie von betriebsbedingten Parametern wie zum Beispiel Infiltrationsraten und -zyklen.

Um die Wechselbeziehungen zwischen Standortbedingungen, Betriebsparametern und den zu minimierenden Kolmationsprozessen zu verstehen, wurden verschiedene Betriebsszenarien von Infiltrationsbecken zur künstlichen Grundwasseranreicherung in zwei physikalischen Modellen auf Labor- und Feldebene simuliert. Der Versuchsaufbau bestand aus einem im Labor installierten rechteckigen Lysimeter (1,5 x 1,0 x 1,0 m) und einer im Feld (4,0 x 5,0 x 1,5 m) aufgebauten rechteckigen Infiltrationsanlage, die beide mit sandigen Böden befüllt wurden. Es erfolgte die Infiltration von Flusswasser (25 mg/l DOC, 15 mg/l TSS) mit unterschiedlichen Raten und verschiedenen langen Infiltrations-/Trockenphasen. Die Laborversuche wurden bei 17 ° C und 65% Luftfeuchtigkeit durchgeführt, während die Infiltration im Feld unter realen Klimabedingungen erfolgte. Eine in verschiedenen Tiefen installierte Anordnung von Tensiometern, TDR-Sonden und Saugkerzen diente zur Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Bodenfeuchte sowie zur Quantifizierung der reduzierten Infiltrationskapazität aufgrund von Kolmationsprozessen.

Die ersten Ergebnisse beider Infiltrationseinheiten deuten darauf hin, dass die Reduzierung der Infiltrationsrate auf zwei verschiedene Arten erfolgt: 1.) die schnelle Kolmation der oberen Bodenschicht durch die Ablagerung von suspendierten Feststoffen und organischer Substanz wobei die entstehende Kolmationsschicht stark von der Umgebungstemperatur und der direkten Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, und 2.) eine langsamere Kolmation der tieferen Bodenschichten, verursacht durch die Qualität des infiltrierten Wassers sowie bakterielles Wachstum. Die optimalen Bedingungen für die Minimierung der Kolmationsprozesse unterschieden sich in den beiden Systemen: Im Feldversuch sorgte eine Kombination aus niedriger Infiltrationsrate und kürzeren Trockenphasen für die geringste Reduzierung der Infiltrationskapazität, während längere Trockenphasen für eine Reduzierung der Kolmation im Labormaßstab verantwortlich waren. Die Sauerstoffverfügbarkeit, ein entscheidendes Kriterium für den Abbau von infiltrierten Wasserinhaltsstoffen, war am höchsten im Fall von längeren Trockenphasen im Anschluss an die Infiltrationsphasen.

P 17.2

Webbasierte Simulationsplattform für die Planung und Bewertung von Anlagen zur künstlichen Grundwasseranreicherung

Jana Glass¹, Catalin Stefan¹, Ralf Junghanns¹, Jana Sallwey¹, Thomas Fichtner¹

¹ Nachwuchsforschergruppe INOWAS, Fakultät Umweltwissenschaften, TU Dresden

Kontakt: thomas.fichtner@tu-dresden.de

Die INOWAS DSS Simulationsplattform beinhaltet eine Zusammenstellung von kostenlosen, webbasierten Tools für die Planung, das Management und die Optimierung der Hauptkomponenten von Systemen zur künstlichen Grundwasseranreicherung. Die Tools verschiedener Komplexitäten lösen empirische, analytische sowie numerische Gleichungen und werden auf einem Webserver ausgeführt, der durch Standard-Webbrowser erreicht werden kann.

Der Simulationskern des Systems besteht aus einem numerischen Grundwasserfließmodell, welches auf MODFLOW-2005 (Harbaugh 2005) und FloPy (Bakker u. a. 2016) basiert. Die Plattform ermöglicht es dem Nutzer, ein neues Grundwasserfließmodell zu erstellen und zu berechnen. Zusätzlich hilft der Szenarien-Manager verschiedene Randbedingungen des Modells einfach und schnell zu ändern, um neue Managementoptionen und die zukünftige Entwicklung zu simulieren sowie diese mit dem Ist-Zustand zu vergleichen.

Neben dem numerischen Kern der Plattform wurden einfache Tools entwickelt, die auf empirischen und analytischen Gleichungen basieren und dabei helfen, Fragestellungen, die bei der künstlichen Anreicherung von Grundwasser auftreten, zu adressieren. Diese umfassen z.B. die Bewertung von Salzwasserintrusion in Küstenaquifereen in Abhängigkeit von Wasserentnahmebrunnen oder der Erhöhung des Meeresspiegels, die Berechnung der Verweilzeiten in ungespannten Grundwasserleitern sowie die Durchflussverminderung in einem Fließgewässer durch Wasserentnahmebrunnen. Der Anstieg des Grundwasserspiegels unterhalb eines Infiltrationsbeckens kann mit Hilfe der Hantush-

Gleichung (Hantush 1967) bestimmt werden. Ein analytisches Tool, welches die Advektions-Dispersionsgleichung löst, kann genutzt werden, um die Schadstoffkonzentration abstromig einer konstanten Quelle zu bestimmen. Die INOWAS DSS Simulationsplattform wird fortlaufend um weitere Tools ergänzt, die momentan entwickelt werden.

Alle Tools sind in eine Entscheidungsunterstützungsumgebung implementiert und können entweder individuell oder in spezifischen Arbeitsabläufen genutzt werden. Dem Nutzer wird dabei eine Liste mit vorausgewählten Tools, die zu seiner Fragestellung hinsichtlich künstlicher Grundwasseranreicherung passen, zur Verfügung gestellt. Des Weiteren existiert eine detaillierte Dokumentation der einzelnen Tools, in der die theoretischen Hintergründe sowie mögliche Anwendungen und Beispiele aufgezeigt werden.

Die INOWAS DSS Simulationsplattform bietet eine Zusammenstellung von Open Source Tools, die das nachhaltige Management von Grundwasserressourcen fördert und die weltweite Zugänglichkeit von Projektdaten sowie institutsübergreifende Kooperationen durch die webbasierte Implementierung ermöglicht. Anhand einer Beispielstudie werden die Funktionen, Besonderheiten und Anwendbarkeit der webbasierten Modellierungsplattform verdeutlicht.

Literatur

Bakker, M., Post, V., Langevin, C.D., Hughes, J.D., White, J.T., Starn, J.J. & Fienen, M.N. (2016): Scripting MODFLOW Model Development Using Python and FloPy. *Groundwater*. 54, 733–739. doi:10.1111/gwat.12413

Hantush, M.S. (1967): Growth and decay of groundwater-mounds in response to uniform percolation. *Water Resources Research*. 3, 227–234. doi:10.1029/WR003i001p00227

Harbaugh, A.W. (2005): MODFLOW-2005, the US Geological Survey modular ground-water model: the ground-water flow process. US Department of the Interior, US Geological Survey Reston, VA, USA

P 17.3

Development of a treatment concept based on technically modified hybrid filtration systems for indirect potable reuse

U. Hübner¹, S. Karakurt¹, V. Zhiteneva¹, K. Hellauer¹, J.E. Drewes¹

¹ Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität München
Kontakt: sema.karakurt@tum.de

Microbial contaminants, organic matter and many trace organic chemicals can efficiently be removed in managed aquifer recharge (MAR) systems. Based on previous studies suggesting that carbon-limited and oxic conditions are favorable for an enhanced trace organic chemical transformation, the sequential MAR technology (SMART) combining two infiltration steps with an intermediate aeration was developed [1]. To evaluate the novel concept, bank filtered water was infiltrated into a full-scale infiltration basin at Lake Tegel, Berlin, Germany and removal efficiencies were compared with the performance of a conventional MAR site (infiltration of surface water). Results confirmed the establishment of oxic and oligotrophic conditions in the second infiltration step, resulting in significantly enhanced transformation of many trace organic chemicals in the SMART system compared to conventional MAR [2].

Based on the sequential approach, a technically modified hybrid filtration system integrating high-rate infiltration systems with controlled subsurface hydraulics, in-situ aeration or oxidation to adjust redox conditions and in-situ process control in one confined treatment system is now being developed and tested at pilot scale. A steel tank construction measuring 6.0 x 0.9 x 1.4 m in length, width, and height was fitted with a sheet metal constructed box to accommodate high influent rates and help to establish plug flow and equipped with >20 sampling ports at different heights and positions as well as 6 monitoring wells for continuous monitoring of temperature, conductivity, water level and dissolved oxygen. The system is continuously fed with effluent from wastewater treatment plant Garching, Germany (approximately 300 L/h), after pre-treatment with a dual media filter to remove suspended solids. Initial tracer tests showed an overall hydraulic retention time of approximately 11 h in the tank, but also indicated a significant amount of preferential flow. Hydraulic models are applied to characterize system hydraulics and identify reasons for preferential flow. Within the first 5 months of operation, microbial activity indicated by dissolved oxygen measurements, significantly increased resulting in complete depletion within the first compartment prior to re-aeration. Five out of 21 trace organic chemicals showed clear and consistent removal during the maturation period. Further research will involve optimization of system hydraulics based on results from the hydraulic models as well as the

determination of virus removal. In addition, in-situ oxidation and disinfection with ozone will be tested to facilitate the removal of persistent compounds and enhance removal of DOC [3,4].

References

- [1] Regnery, J., Wing, A.D., Kautz, J. & Drewes, J.E. (2016): Introducing sequential managed aquifer recharge technology (SMART) – From laboratory to full-scale application. *Chemosphere* 154, 8–16.
- [2] Hellauer, K., Mergel, D., Ruhl, A., Filter, J., Hübner, U., Jekel, M. & Drewes, J. (2017): Advancing sequential managed aquifer recharge technology (SMART) using different intermediate oxidation processes. *Water* 9 (3), 221.
- [3] Hellauer, K., Karakurt, S., Sperlich, A., Burke, V., Massmann, G., Hübner, U. & Drewes, J.E. (in press). Establishing sequential managed aquifer recharge technology (SMART) for enhanced removal of trace organic chemicals: Experiences from field studies in Berlin, Germany, *Journal of Hydrology*.
- [4] Zucker, I., Mamane, H., Cikurel, H., Jekel, M., Hübner, U. & Avisar, D. (2015): A hybrid process of biofiltration of secondary effluent followed by ozonation and short soil aquifer treatment for water reuse. *Water Res.* 84, 315–322.

P 17.4

Biologische und physikalische Kolmation an Infiltrationsbrunnen – Der Einfluss des Brunnendurchmessers

Fritz Kalwa¹, Martin Binder¹, Falk Händel¹

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden
Kontakt: fritz.kalwa@tu-dresden.de

Im Zuge der Wiederverwendung von geklärten Abwässern und zur künstlichen Grundwasseranreicherung wird das sogenannte Soil-Aquifer Treatment („SAT“) bereits seit vielen Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt. Hierbei wird das zu behandelnde Wasser zumeist über Infiltrationsbecken in den Untergrund versickert, wobei insbesondere die Passage der ungesättigten Zone zu einem aeroben Abbau von diversen organischen Verbindungen (bis hin zu den sog. „Spurenstoffen“) und anorganischen Kontaminationen (z.B. Ammonium) führt.

Um die Einsatzmöglichkeiten dieser kosteneffizienten und resilienten Behandlungsmöglichkeit zu vergrößern, soll der Einsatz von Infiltrationsbrunnen in der ungesättigten Zone getestet werden. Insbesondere Brunnen mit kleinen Durchmessern (<3“) zeigten vielversprechende Ergebnisse in theoretischen Studien und sind – mittels Direct-Push-Technik o.Ä. – kostengünstiger zu installieren als Brunnen mit größeren Durchmessern. Um die nachhaltige Nutzung dieser Brunnen zu gewährleisten, muss ihr Kolmationsverhalten bewertet werden, insbesondere mit Blick auf die Infiltration von Wässern mit geringerer Qualität (hohe Trübung, hohe organische Fracht).

Um die Verhältnisse im unmittelbaren Brunnennahbereich nachzustellen, wurden spezielle Aquifer-Brunnen-Modelle entwickelt. Diese wurden dazu verwendet, um mehrere Versuchsreihen durchzuführen, in denen sowohl die physikalische, als auch die biologische Kolmation simuliert wurde. Durch kontinuierliche Beobachtung des Aufstaus im Brunnen bei konstanter Fließrate und Nährstofffracht war es möglich, mithilfe der Dupuit-Thiem-Formel auf die Entwicklung des effektiven kf-Wertes um den Brunnen rückzuschließen.

Die Entwicklung dieses kf-Wertes bei unterschiedlichen Brunnendurchmessern wurde sowohl bei physikalischem Clogging (hervorgerufen durch mit Tonpartikeln versetztes Infiltrationswasser) als auch bei biologischem Clogging (hervorgerufen durch über eine Nährstofflösung induziertes Biowachstum) miteinander verglichen, um den Einfluss des Brunnendurchmessers bei der Infiltration unterschiedlich beschaffener Wässer zu bestimmen.

Erste Ergebnisse zeigen den Einfluss des Brunnendurchmessers auf die Reduktion des effektiven kf-Wertes beim physikalischen Clogging. Beim biologischen Clogging war der Effekt ebenfalls zu beobachten, allerdings in deutlich abgeschwächter Form, was die Abhängigkeit der Nutzung von Infiltrationsbrunnen mit kleinem Durchmesser von der Wasserqualität verdeutlicht.

18 Angewandte Hydrogeologie – Fallbeispiele der Staatlichen Geologischen Dienste

Vorträge

O 18.1: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 09:45-10:00

Ein Strukturmodell als Grundlage für regionale Strömungsmodellierung

Björn Panteleit¹, Katherina Seiter¹, Sven Jensen¹

¹ Geologischer Dienst für Bremen

Kontakt: bpanteleit@gdfb.de

In der Bohrdatenbank des Geologischen Dienstes für Bremen (GDfB) sind für das kleinste Bundesland annähernd 100.000 Bohrungen mit Schichtverzeichnissen archiviert. Die unter anderem über vernetzte Profilschnitte ermittelten Schichtgrenzen bilden die Grundlage für ein Schichtgrenzenmodell der quartären Einheiten, die bis zu annähernd 400 m unter Gelände reichen. Zur Erstellung eines Strukturmodells werden die zwischen den Schichtgrenzen befindlichen sechs hydrostatigrafischen Einheiten in insgesamt 38 durchgehende Layer mit einem regelmäßigen Zellraster von 100 x 100 m unterteilt. Anhand der Schichtbeschreibungen der archivierten Bohrungen erfolgt eine Zuweisung hydraulischer oder geothermischer Parameter der von den Bohrungen erfassten Zellen. Über eine Interpolation erfolgt die Parametrisierung auf sämtliche Modellzellen des Strukturmodells. Eine Schnittstelle erlaubt das parametrisierte Modellgitter in eine Software zur Strömungsmodellierung (z.B. Modflow) zu transferieren. Nach Erfassung von hydraulischen Randbedingungen steht so ein Basismodell für eine regionale Strömungsmodellierung zur Verfügung. In ersten Tests zeigt sich trotz der automatischen Zuweisung von Durchlässigkeitsbeiwerten über die Bohrbeschriebe ein nur sehr geringer Kalibrierungsbedarf, der über eine pauschale modellweit einheitliche Anpassung der Daten erfolgt.

Die resultierenden kalibrierten Regionalmodelle stehen neben großräumigen Betrachtungen zum Grundwassermanagement auch als Modellbasis für lokale Fragestellungen zur Verfügung. So kann für Untersuchungen bei denen nicht in das Strömungsregime eingegriffen wird (z.B. Schadstofftransport oder Temperatursausbreitung von Erdwärmesondenfeldern) auf Ausschnitte aus dem regionalen Strömungsmodell zurückgegriffen werden. Liegen für die lokalen Untersuchungsräume detailliertere Erkenntnisse vor, können diese lokal verfeinert und mit Erkenntnissen aktueller Untersuchungen neu parametrisiert werden. Hierfür stellt der Geologische Dienst für Bremen lokale Ausschnitte aus dem Modellgitter Ingenieurbüros zur Verfügung, die entsprechende Fragestellungen in Bremen bearbeiten. Mit dem Rückfluss der verfeinerten Daten in das Regionalmodell kann dieses ebenso wie mit neuen Erkenntnissen aus zukünftigen Bohrungen weiter optimiert werden.

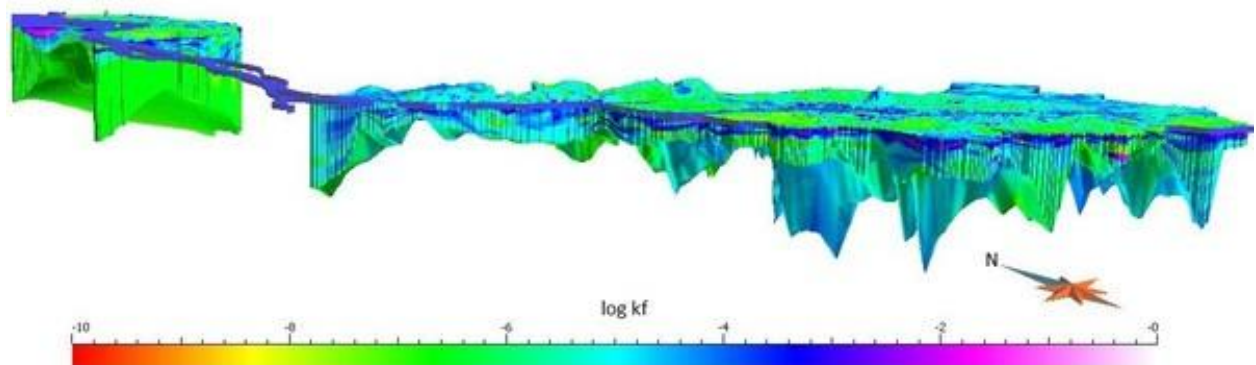


Abb. 1: Parametrisiertes Strukturmodell für das Bundesland Bremen

Literatur

Panteleit, B., Jensen, S., Seiter, K., Budde, H. & McDiarmid, J. (2013): A regional geological and groundwater flow model of Bremen (Germany): an example management tool for resource administration: ZDGG 164, 569-580

O 18.2: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 10:00-10:15

Untergrundmodelle als Grundlage für die Grundwasserbewirtschaftung – Beispiel „Hydrogeologische Kartierung Raum Grünstadt“

Frank Bitzer¹

¹ Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

Kontakt: frank.bitzer@lgb-rlp.de

Seit dem Jahr 2000 führen das Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB) sowie das Landesamt für Umwelt (LfU) hydrogeologische Kartierungen ausgewählter Projektgebiete in Rheinland-Pfalz durch. Die hydrogeologischen Kartierungen stellen eine fachliche Grundlage für die Grundwasserbewirtschaftung der Landesteile dar.

Im Jahr 2016 wurde mit dem Bericht „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Raum Grünstadt“ (HGK Grünstadt; Lgb & Lfu 2016) die jüngste Bearbeitung vorgestellt. Mit der Auswahl des Projektgebietes wurde ein Lückenschluss zwischen den bereits bearbeiteten Kartiergebieten „Kaiserslautern“ (Lgb & Lfw 2004) sowie „Rhein-Neckar Raum“ (Muv Bw, Hess. Mulf & Muf Rp 1980, 1999) vollzogen.

Das LGB und das LfU haben in Zusammenarbeit mit der Struktur- und Genehmigungsdirektion (SGD) Süd als obere Wasserbehörde den Untersuchungsraum und den Umfang der notwendigen Arbeiten für die HGK Grünstadt festgelegt.

Geologisch gesehen befindet sich das ca. 460 km² umfassende Untersuchungsgebiet im Nahtbereich vom nördlichen Oberrheingraben, südlichen Mainzer Becken sowie westlichen Rand der Pfälzer Mulde, des Nordpfälzer- und Saar-Nahe-Berglandes. Tektonisch-strukturell betrachtet bestehen in dem Gebiet komplexe Verhältnisse.

Neben einer geologischen Neubearbeitung des Gebietes, wurden u.a. Abflussmessungen in den Fließgewässern durchgeführt. Weiterhin wurden alle Wasserfassungen beprobt und die Grundwasserbeschaffenheit analysiert. Ergänzend erfolgten Isotopenuntersuchungen und Spurengasuntersuchungen zur Klärung der Altersstruktur in dem bis zu etwa 400 m mächtigen Grundwasserleitersystem des Buntsandsteins.

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen wurde zunächst ein Strukturmodell zu den Untergrundverhältnissen entwickelt. In Verbindung mit den Modellvorstellungen zur Grundwasserdynamik konnten der Wasserwirtschaft wichtige Hinweise zur hydrogeologischen Gliederung des Untersuchungsraumes in wasserwirtschaftlich bilanzierbare Teilräume gegeben werden. Mit der HGK Grünstadt steht nun ein zur Quantifizierung geeignetes Werkzeug für die zukünftige Grundwasserbewirtschaftung in diesem Raum zur Verfügung.

Die Projektbearbeitung wäre ohne die Unterstützung der örtlichen Wasserversorgungsunternehmen sowie des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MULEWF) nicht möglich gewesen.

O 18.3: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 10:15-10:30

Wechselseitige Datenoptimierung zwischen dem Geologischen Dienst und Wasserversorgern – Neue Wege zu digitalen hydrogeologischen Modellen in Schleswig-Holstein

Klaas Stoeper¹, Bernd König¹

¹ Geologischer Dienst, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

Kontakt: Klaas.Stoeper@llur.landsh.de

Der Geologische Dienst (GD) erfasst und bewertet hydrogeologische Daten zur Ermittlung der Grundwasserverhältnisse, v. a. in den zur Wasserversorgung genutzten Grundwasserleitern. Hierzu liegen analoge und digitale Informationen in unterschiedlicher Aktualität und Qualität vor.

Zurzeit werden durch die Wasserversorger (WV) auf der Basis dieser heterogenen Daten Untersuchungen bis hin zu Grundwassermodellierungen durchgeführt. Ein Rückfluss neu erhobener Daten zum GD und ihre zeitnahe Berücksichtigung ist nicht immer gewährleistet. Zur wechselseitigen Datenoptimierung zwischen den WV und dem GD soll zukünftig eine standardisierte Vorgehensweise bei der Aufbereitung, Haltung und Bereitstellung von Fachdaten beitragen. Im Vordergrund steht dabei, dass extern bearbeitete Daten und Modelle in einen Datenpool des GD zurückfließen und für zukünftige Projekte als verbesserte Datengrundlage wieder zur Verfügung stehen. Diese Zusammenarbeit soll den Einsatz hydrogeologischer Modelle z. B. bei Bewilligungsverfahren oder im Ressourcenmanagement erleichtern und eine stärkere Beteiligung der WV bei der Ausweisung von Wasserschutzgebieten stützen.

Im Rahmen des Konzeptes werden besondere für die Auflösung in der Fläche, in der Tiefe, die Methodik, die Datenformate und die zu verwendende Software Festlegungen getroffen:

- Landesweit wird eine Auflösung in der Fläche von 100 m festgelegt. Hierzu wird ein Basisraster in einem definierten geodätischen System und mit einer entsprechenden äquidistanten Zellweite definiert. Für abweichende Maßstäbe sind äquidistante Raster mit anderen Zellweiten zu verwenden, die aber immer deckungsgleich mit dem Basisraster sein müssen. Das Basisraster bildet z. B. die Grundlage für hydrogeologische Modelle, Gleichenpläne oder Grundwassermodelle, kann aber auch als Vorgabe für die Auflösung bei der Selektion von Bohrungsdaten genutzt werden.
- Die Auflösung in der Tiefe beruht weitgehend auf der hydrostratigrafischen Gliederung nach Manhenke et. al. (2001). Eine entsprechende hydrostratigrafische Tabelle liegt für Schleswig-Holstein vor.
- Für die hydrogeologischen Einheiten wird jeweils die Tiefenlage der Basis im Basisraster erstellt und dann zu einem 3D-Modell zusammengefügt. Anschließend wird die jeweilige Mächtigkeit und Tiefenlage der Oberkante im Basisraster berechnet. Bei Oberflächengewässern werden die Gewässerverläufe aus amtlichen Kartenwerken verwendet und die Höhen werden durch Verschneidung mit einem DGM ermittelt. Die Daten zum hydraulischen Radius werden ebenfalls im Basisraster bereitgestellt.
- Alle Daten sind in softwareunabhängigen, aber gängigen Formaten zu erstellen, damit sie einem größeren Nutzerkreis zu Verfügung stehen.
- Für die Erstellung und Visualisierung wird die Open Source-Software iMOD verwendet (www.deltares.nl/en/software/imod). Für die Nutzung fallen keine Lizenzgebühren an. Dies kommt auch anderen potenziellen Nutzern wie Wasserbehörden, Kommunen, Ingenieurbüros oder Hochschulen zugute.

Literatur

Manhenke, V., Reutter, E., Hübschmann, M., Limberg, A., Lückstädt, M., Nommensen, B., Peters, A., Schlimm, W., Taug, R. & Voigt, H.-J. (2001): Hydrostratigrafische Gliederung des nord- und mitteldeutschen känozoischen Lockergesteinsgebietes.- Z. angew. Geol., 47: 146-152; Hannover (BGR).

O 18.4: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 10:30-10:45

Nutzung eines Behördenmodells zur Beurteilung dichteabhängiger Grundwasserströmungsprozesse im Thüringer Werra-Kaligebiet

Jörn Geletneky¹, Christoph König²

¹ TLUG Jena, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena

² delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten

Kontakt: joern.geletneky@tlug.thueringen.de

Im hessisch-thüringischen Werra-Kaligebiet wurden seit 1925 über 900 Mio. m³ hochmineralisiertes Prozessabwasser aus der (Kali-)Salzproduktion sowie Haldenabwässer in den Grundwasserleiter Leinekarbonat (Plattendolomit) eingeleitet. Während die Salzabwasserversenkung in Thüringen Ende 1968 weitestgehend eingestellt wurde, werden aktuell weiterhin max. 1,5 Mio. m³ jährlich über Versenkbohrungen in Hessen in den Untergrund eingeleitet. In den wasserwirtschaftlichen Antrags- und Erlaubnisverfahren war die Entwicklung und Vorlage eines instationären 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodells, welches die Auswirkungen der Salzabwasserversenkung in einem ca. 1.200 km² umfassenden Modellgebiet nachbilden und prognostizieren sollte, eine wichtige Voraussetzung.

Die Konzeption und Erstellung adäquater numerischer Grundwasserströmungs- und -transportmodelle in Festgesteinen stellt hohe Anforderung an die Modellentwicklung und -dokumentation. Gleichzeitig sind eine plausible Nachbildung des dichteabhängigen Grundwasserströmungsprozesses sowie die Umsetzung behördlicher Vorgaben unabhängig durch Fach- und Genehmigungsbehörden zu begutachten. Um die komplexen Umweltauswirkungen der Salzabwasserversenkungen auf das Grund- und Oberflächenwasser in Thüringen beurteilen zu können, wurde innerhalb eines aktuellen Prüfverfahrens durch die Thüringer Behörden zusätzlich ein eigenständiges, numerisches dichteabhängiges 3D-Grundwasserströmungsmodell als Vergleichsmodell konzipiert, beauftragt und entwickelt.

Das unabhängige Vergleichsmodell basiert auf der gleichen geologischen, hydrologischen und hydrogeologischen Datenbasis wie das zu prüfende Grundwassermodell. Das Vergleichsmodell wurde als Werkzeug zur Untersuchung der Auswirkungen einzelner Einflussgrößen, Prozesse und Parameter eingesetzt. Fokus war nicht eine möglichst exakten Abbildung der gemessenen Größen (Kalibrierung), sondern eine Bewertung der jeweils untersuchten Einflussgrößen hinsichtlich Signifikanz und Wirkungsweise. Ohne die Nutzung des Vergleichsmodells wäre eine unabhängige Prüfung der vorliegenden Modellergebnisse sowie eine gutachterliche Einschätzung zur grundsätzlichen Eignung des Grundwassermodells bei der Nachbildung der komplexen hydrogeologischen Gegebenheiten im Werra-Kaligebiet nicht möglich gewesen.

O 18.5: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 10:45-11:00

GEBAH – Eine Software für die konzentrationsunabhängige Früherkennung von Salzwasserintrusionen in Süßwasser führende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer

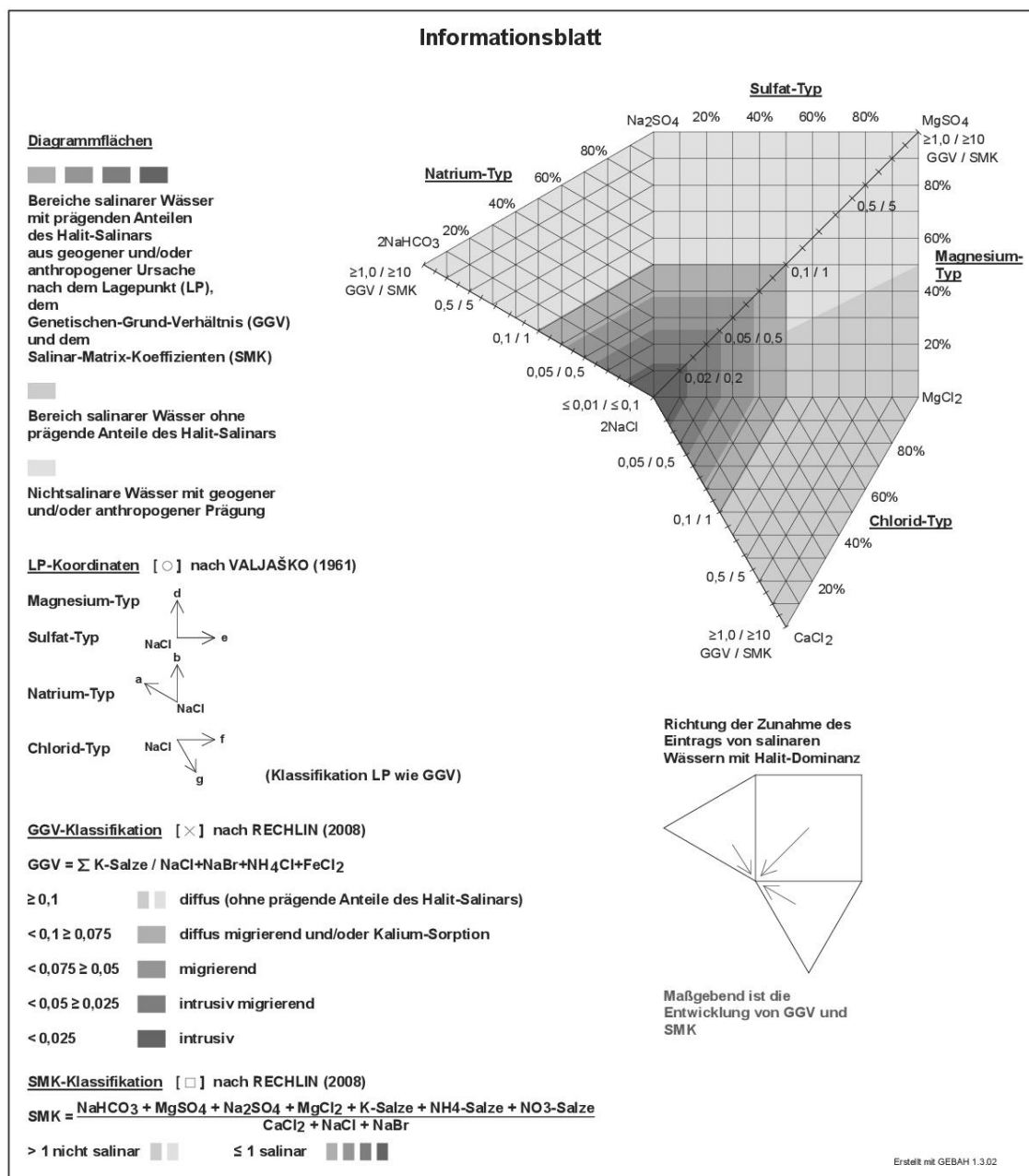
Dietmar Brose¹

¹ Geologischer Dienst Brandenburg, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg

Kontakt: dietmar.brose@lbgr.brandenburg.de

Die im LBGR entwickelte Software GEBAH erlangt besonders bei der Identifizierung von schon geringfügigen Einflüssen salinarer Tiefenwässer in den wasserwirtschaftlich genutzten Süßwasser führenden Grundwasserleitern eine außerordentliche Bedeutung. Für die Bewirtschaftung der Grundwasserlagerstätten steht somit ein einfach handhabbares und kostengünstiges Werkzeug für die Salinar-Früherkennung auch schon bei geringer Mineralisation der Wässer zur Verfügung. Der Ausgangspunkt der Entwicklung des Genesemodells ist das Geochemische Typendiagramm von Valjašhko (1961). Dieses Lagepunkt-konzept (LP) wurde durch Rechlin (2008) um das Genetische Grundverhältnis (GGV) und den Salinar Matrix Koeffizient (SMK) erweitert, die unabhängig von der Konzentration eine sichere Trennung von salinar und nicht salinar beeinflussten Wässern ermöglichen.

Im Programm werden die prozentualen Anteile von hypothetischen Berechnungssalzen in der Lösung ermittelt und miteinander in Beziehung gesetzt. Das Bezugssalz der in GEBAH implementierten grundwassergenetischen Betrachtungsweise ist das Halit (NaCl), das den gemeinsamen Eckpunkt aller Grundtypen im Genesemodell (NaCl-Pol) bildet. Als Ausgangspunkt für die GGV- und SMK-Skala erlangt der NaCl-Pol die entscheidende Bedeutung bei der Bewertung der Intensität der salinaren Stoffeinträge. Das GGV ist ein kombiniertes Restsalz-Verhältnis und basiert auf den geochemischen Gesetzmäßigkeiten, denen die Prozesse bei der Eindunstung mariner Becken und der Entstehung von Salzgesteinen unterliegen. Mit dem GGV erfolgt eine Trennung der nicht salinar von den salinar beeinflussten Wässern. Am Beispiel der Weltmeere (GGV < 0,05) wird veranschaulicht, dass Wässer gleicher genetischer Herkunft ein annähernd identisches GGV besitzen. Die genauere Spezifizierung des GGV erfolgt durch die Einbeziehung des SMK. Im SMK werden die im Programm berechneten vergleichsweise leicht löslichen Salze des Süßwasserstockwerkes mit den das Salzwasserstockwerk charakterisierenden Salzen in Beziehung gesetzt. Im Diagramm erfolgt ebenfalls an der Grenze SMK $\leq 1 / > 1$ eine Trennung von salinar und nicht salinar beeinflussten Wässern, die mit dem durch das GGV < 0,1 / $\geq 0,1$ abgegrenzten Salinarfeld (s. Abb.) korrespondiert.



Grundsätzlich gilt, dass bei einer Lageänderung von LP, GGV und SMK in Richtung des NaCl-Pols das Vorhandensein salinar geprägter Wässer angezeigt wird. Die Früherkennung geogen-salinärer Speisungsanteile besitzt vor allem

für die langfristige Sicherstellung der Trinkwassergewinnung eine große Bedeutung. Bereits im Vorfeld von signifikanten i. d. R. irreversiblen negativen Beschaffenheitsänderungen durch Salzwasserintrusionen (Chlorid-Konzentration über TVO-Grenzwert) kann somit durch die rechtzeitige Anpassung der Brunnenfahrweise bzw. Optimierung der Brunnenstandorte gegengesteuert werden. Im Vortrag erfolgt die Erläuterung der GEBAH-Systematik mit Beschreibung der Identifikatoren GGV, SMK und LP, die anhand von ausgewählten Beispielgebieten veranschaulicht wird.

Literatur

Rechlin, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplex des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischer Raum, Stand April 1997). – Brandenburg. geowiss. Beitr. 4, 1, S. 67–71

Rechlin, B. (2008): Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. – Brandenburg. geowiss. Beitr. 15, 1/2, S. 57–68

Rechlin, B., Hoffknecht, A., Scholz, H. & Helms, A. (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. – Software LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen

Valjaško, M. G. et al (1961): Geochemie der Halokinese. –In: Sb. Tr. Geol. Fakut. Moskau, Izdat. Mosk. Univ. (russ.)

O 18.6: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 11:30-11:45

Ermittlung von Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern Nordrhein-Westfalens

Alena Ullmann¹, Hannsjörg Schuster¹

¹ Geologischer Dienst NRW – Landesbetrieb

Kontakt: alena.ullmann@gd.nrw.de

Eines der Umweltziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; Richtlinie 60/2000/EG) ist die Erreichung eines guten Zustandes (chemisch und ökologisch) der Oberflächengewässer. Die Ergebnisse der letzten Bestandsaufnahme haben gezeigt, dass die Umweltziele der WRRL in den Gewässern nur bedingt erreicht sind.

Mit Ergänzung der Rechtsgrundlage durch die Richtlinien 2008/105/EG und 2013/39/EU besteht die Möglichkeit, geogene Hintergrundwerte (HGW) bei der Beurteilung des Gewässerzustandes zu berücksichtigen. Oberflächenwasserkörper (OFWK), die Überschreitungen der gesetzlich geregelten Umweltqualitätsnormen (UQN) aufweisen, sind somit hinsichtlich ihrer natürlichen Hintergrundkonzentrationen zu untersuchen.

Das vorgestellte Projekt setzt sich zum Ziel, Hintergrundwerte für ausgewählte Schwer- und Halbmetalle (20 Parameter) in den Oberflächengewässern NRWs zu ermitteln. Die Studien basieren auf Gewässer- und Quellanalysen aus der Gewässerüberwachung des Landes NRW sowie Analysen der sondergesetzlichen Wasserverbände und aus den Geochemischen Atlanten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1985, 2006).

Da die Datendichte für eine wasserkörperscharfe Auswertung nicht ausreichend ist, werden sogenannte Hydrogeochemische Einheiten (HGC) als Bewertungseinheiten eingesetzt. Diese basieren auf der Hydrogeologischen Übersichtskarte (Maßstab 1:200.000) und fassen geochemisch vergleichbare Regionen zusammen. Die HGC wurden 2005 durch den Arbeitskreis Hintergrundwerte Grundwasser der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands abgeleitet und zur Ermittlung geogener Hintergrundwerte im Grundwasser erfolgreich eingesetzt. Bei ausreichender Datendichte erfolgt eine Untergliederung der HGC nach Teileinzugsgebieten.

Die Auswertung der Daten erfolgt in Wahrscheinlichkeitsnetzen (nach Walter 2008). Wahrscheinlichkeitsnetze stellen eine normal- bzw. lognormalverteilte Population als Gerade dar. Setzt sich ein Konzentrationsspektrum aus mehreren Populationen zusammen, zeigt sich dies im Wahrscheinlichkeitsnetz anhand mehrerer Teilgeraden, die sich durch Knickpunkte voneinander abgrenzen. Mit Hilfe der Teilgeraden und unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Konzentrationsspektren lassen sich anthropogen beeinflusste Messungen von natürlich anzusehenden Konzentrationen abgrenzen. Der Hintergrundwert ergibt sich als 90.-Perzentil der Normalpopulation (Teilgerade, die als natürlich angesehen wird).

Eine Überprüfung der Ergebnisse erfolgt mit Hilfe von Randdaten (HGW im Grundwasser/Boden, Daten zu Metallgehalten in Gesteinen, Erzlagerstätten u.a.) und durch Absprache mit Experten vor Ort.

Zum derzeitigen Zeitpunkt liegen noch keine Ergebnisse vor. Testauswertungen haben aber bereits die Anwendbarkeit der beschriebenen Methodik bestätigt. Im Rahmen der FH-DGGV Tagung vom 21.-24. März 2018 in Bochum sollen erste Ergebnisse präsentiert und diskutiert werden.

Literatur

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. - Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 327, 22.12.2000.

Walter, T. (2008): Determining natural background values with probability plots.- In: EU Groundwater Policy Developments Conference, UNESCO, Paris, France.

O 18.7: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 11:45-12:00

Ermittlung geogener Hintergrundwerte für das Grundwasser in hydrogeologischen Bezugseinheiten Sachsen-Anhalts und Ableitung von Schwellenwerten pro Grundwasserkörper nach GrundwV

Sophie Borrmann¹, Stephan Hannappel¹, Thomas Walter², Eike Barthel³

¹ HYDOR Consult GmbH

² Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz Saarland

³ Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

Kontakt: borrmann@hydor.de

Um die Anforderungen der GWRL zu erfüllen, wurden für die gesamte Landesfläche von Sachsen-Anhalt geogene Hintergrundwerte (HGW) für das Grundwasser ermittelt und zugleich grundwasserkörperbezogene Schwellenwerte (SW) abgeleitet. Flächenhafte Bezugsgrundlage waren die durch das LAGB festgelegten 14 hydrogeologischen Bezugseinheiten (BZE). Diese sind mit den hydrogeochemischen Einheiten (HGC), die seitens der BGR deutschlandweit auf Basis der hydrogeologischen Raumgliederung ausgewiesen wurden, nicht komplett kongruent: Sie unterscheiden sich von diesen z. B. im Lockergesteinsbereich anhand vertikaler Lagerungsbedingungen und betonen im Festgesteinsbereich stärker den lithologischen Charakter der grundwasserführenden Gesteinseinheiten. Zur messstellenscharfen Zuordnung der BZE wurden -soweit vorhanden- auch Schichtenverzeichnisse und Bohrlochdaten eingesetzt.

Die hydrochemische Datenbasis bildete ein heterogener Datensatz bestehend aus Analysen des Landesmessnetzes, von Ermittlungsuntersuchungen, Sondermessnetzen und Rohwasserdaten, sowie von dem Bergbau, Sand- und Kiesabbau. Nach Präselektion dienten Analysen von ca. 3160 Grundwassermessstellen als Grundlage zur Ableitung der HGW. Begrenzt wurde der Datensatz auf den Zeitraum 2000 bis 2016. Das Parameterspektrum umfasste etwa 50 Parameter: Dazu zählten alle Haupt- und Nebeneinhaltsstoffe des Grundwassers, sowie viele anorganische Spurenelemente.

Methodisch wurden zur Identifizierung der geogenen Normalpopulationen und zur Ermittlung der statistischen Kenngrößen gemäß der aktuellen GrundwV Wahrscheinlichkeitsnetze eingesetzt. Dafür wurde eine seitens der SGD Deutschlands für die Ableitung von HGW programmierte Excel-Anwendung verwendet (vgl. Wagner et al., 2014¹). Mit Hilfe dieses sogenannten Probnets können geogene und anthropogene Anomalien relativ einfach identifiziert und selektiert werden. Integriert in die automatisierte Anwendung ist der Umgang mit Bereichen, in denen die Hintergrundpopulation durch andere Populationen überlagert wird. Außerdem ist der Umgang mit Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze geregelt: Diese Werte werden nur indirekt berücksichtigt, indem deren prozentualer Anteil im unteren Bereich der Verteilung entsprechend extrapoliert wird. Nachdem eine Normalpopulation durch das Abtrennen von oberen und unteren Werten festgelegt wurde, wurden verschiedene statistische Kenngrößen dieser Populationen berechnet. Das 90-Perzentil wurde dabei in Analogie zur GrundwV als die obere Grenze des Hintergrundgehaltes definiert.

Die SW wurden anschließend für die neun zentralen Parameter (ohne Nitrat) der GrundwV für jeden einzelnen Grundwasserkörper flächengewichtet mit den HGW der BZE darin ermittelt. Bei Überschreitung des gesetzlich festgeschriebenen Wertes wurde selbiger durch den neu bestimmten Wert ersetzt. Dadurch wurde den regional spezifischen hydrogeochemischen Besonderheiten Rechnung getragen werden.

Literatur

Wagner, B., Beer, A., Bitzer, F., Brose, D., Brückner, L., Budziak, D., Clos, P., Fritsche, H.G., Hörmann, U., Hübschmann, M., Moosmann, L., Nommensen, B., Panteleit, B., Peters, A., Prestel, R., Schuster, H., Schwerdtfeger, B., Walter, T. & Wolter, R. (2014): Erläuterung zum Web Map Service (WMS) "Hintergrundwerte Grundwasser". 24 S.; Hof

O 18.8: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 12:00-12:15

Vorkommen und Herkunft von Chrom(VI) in hessischen Grundwässern

Harald Rückert¹, Bernd Leßmann¹, Inga Schlösser-Kluger¹, Renate Senner¹

¹ Dezernat Grundwasser und Hydrogeologie, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

Kontakt: harald.rueckert@hlnug.hessen.de

Chrom ist ein in der Natur weit verbreitetes Element. Im metallischen Zustand wird es im täglichen Umgang in Form von Beschichtungen von Alltagsgegenständen wie zum Beispiel verchromten Autofelgen oder Sanitärarmaturen eingesetzt. In die Umwelt kann Chrom im Zusammenhang mit industriellen Produktionsprozessen wie beispielsweise bei der Legierung von Stahl oder bei der Lederherstellung gelangen. Zum anderen gehen natürliche Emissionen auf Vulkanismus, Verwitterung von Gesteinen und biologische Prozesse zurück.

Chrom kommt im Wasser in verschiedenen Oxidationsstufen vor. Die beiden stabilen Oxidationsstufen des Chroms weisen dabei merkbare Unterschiede in ihrer Mobilität und Toxizität auf. Im Unterschied zum dreiwertigen Chrom [Chrom(III)], das wenig toxisch wirkt und eine hohe Affinität zur Adsorption besitzt, hat sechswertiges Chrom [Chrom(VI)] eine große toxikologische Bedeutung (Pohling 2015, Kunkel et al. 2004).

In einem Sondermessprogramm des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) wurden im Jahr 2014 hessenweit 417 repräsentativ ausgewählte Grundwasserproben genommen und Chrom(VI) untersucht.

Bei rund 52 % der untersuchten Grundwasserproben konnte Chrom(VI) nachgewiesen werden. Die höchste Konzentration wurde mit 8,4 µg/l festgestellt.

Die vorliegenden positiven Befunde von Chrom(VI) im Grundwasser können nahezu ausnahmslos plausibel den in Hessen verbreiteten Magmatiten (tertiäre Vulkanite [Mittel- und Nordhessen], devonische und karbonische Metavulkanite [Rheinisches Schiefergebirge], Gabbros und Amphibolite [Odenwald]) zugeordnet werden.

Die Chrom(VI)-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Redox-Spannung zeigen, dass Chrom(VI) zwischen 100 – 600 mV stabil im Grundwasser vorliegt. Durch den Eintrag von Nitrat-Stickstoff, überwiegend aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung, können sich die Redox-Verhältnisse (reduzierendes/oxidierendes Milieu) ändern und sich so auf die Löslichkeit und die Konzentrationen von Chrom_{ges.} und Chrom(VI) im Grundwasser auswirken.

Literatur

Kunkel, R., Voigt, H.-J., Wendland, F. & Hannappel, S. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. Band / Volumen 47. Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Gemeinschaft; Jülich.

Pohling, R. (2015): Chemische Reaktionen in der Wasseranalyse. Chrom, Vorkommen und Bedeutung. Kapitel 13.1, Seite 99; Springer-Verlag, Heidelberg.

O 18.9: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 12:15-12:30

Methan-Hintergrundwerte im Grundwasser Niedersachsens

Johanna Oest¹, Jörg Elbracht¹, Stefan Schlömer², Christian Illing², Martin Blumenberg²

¹ Hydrogeologie, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

² Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Kontakt: Johanna.Oest@lbg.niedersachsen.de

Auf Grund aktueller wirtschaftlicher und technischer Entwicklungen werden die Potenziale des tieferen Untergrundes immer intensiver betrachtet. Neue Entwicklungen, z.B. in der Erdgas-Förderung, werden vor dem Hintergrund der Auswirkungen auf das Grund- und Trinkwasser diskutiert. Als sachliche Grundlage für eine politische und gesellschaftliche Diskussion sind geowissenschaftliche Basisdaten, z.B. zu geogenen Hintergrundwerten gasförmiger Wasserinhaltsstoffe, notwendig.

Im Rahmen des Verbundvorhabens zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), in enger Zusammenarbeit mit dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), werden geogene Hintergrundwerte für Methan im Grundwasser von Niedersachsen ermittelt. Darüber hinaus sollen Kenntnisse über die Quellen und Senken der gelösten Gase erlangt werden. Diese Studie ist einzigartig für Deutschland, da bislang noch keine flächendeckenden Hintergrundwerte für im Grundwasser gelöste Gase in Deutschland erhoben wurden.

In den Jahren 2014 bis 2016 wurden mehr als 1300 Grundwassermessstellen des Gütemessnetzes durch den NLWKN beprobt. Neben der Messung der Absolutgehalte von Methan, Ethan und Propan wurden Gas-Isotopenanalysen durchgeführt. Die Isotopenzusammensetzung als auch der geringe Anteil höherer Kohlenwasserstoffe lassen auf einen biogenen Ursprung des Methans schließen. Hohe Methankonzentrationen treten insbesondere in den Marschen und Niederungen mit hohem Anteil organischer Substanz in den Sedimenten und großflächig verbreiteten Mooren auf. Diese Grundwässer zeichnen sich vorwiegend durch geringe Gehalte an Sauerstoff, Nitrat und Sulfat sowie erhöhte Gehalte an Ammonium und gelösten organischen Kohlenstoff aus. Es wurde kein Zusammenhang zwischen erhöhten Konzentrationen an gelösten Kohlenwasserstoffen im oberflächennahen Grundwasser und tiefliegenden Erdgaslagerstätten festgestellt.

O 18.10: Vortragsreihe 2, 23.03.2018, 12:30-12:45

Harmonisierte Skalen übergreifende Ableitungsprodukte ermöglichen adressatenorientierte Beratung zum Grundwassermanagement

Jörg Reichling¹

¹ *Fachbereich Informationsgrundlagen Grundwasser und Boden, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Kontakt: joerg.reichling@bgr.de*

Seit vielen Jahrzehnten werden international, europäisch und national hydrogeologische Flächeninformationen in den unterschiedlichsten Maßstäben, aus regional verfügbaren Informationsgrundlagen mit spezifischen Ergebnissen und Interpretationen erstellt. Um diese wissenschaftlichen Fachinformationen zu interoperabilisieren, wurden erhebliche Anstrengungen unternommen. Die hydrogeologische Information für den europäischen Maßstab wurde mit der Internationalen Hydrogeologischen Karte von Europa (IHME1500) kompiliert. In den letzten Jahren wurden diese Daten durch Harmonisierung der lithologischen Informationen in hohem Maße weiter in Wert gesetzt und auf den Blattschnitt der IGK erweitert. Im globalen Maßstab liegen mit der WHYMAP thematische Flächeninformationen im weltweiten Maßstab 1:40/25 Mio vor. Für Deutschland wurde die Hydrogeologische Übersichtskarte 1:200/250 (HÜK200/250) mit zentralen hydrogeologischen Basisinformationen erstellt.

Diese Informationsgrundlagen stellen jede für sich einen enormen Wert an kompiliertem hydrogeologischem Fachwissen aller beteiligten nationalen und internationalen wissenschaftlichen Institutionen dar. Die Informationsvielfalt und –tiefe unterscheidet sich naturgemäß über die unterschiedlichen Skalen aber auch in den Regionen. Je kleiner der Maßstab, desto abstrakter ist die zu Grunde liegende hydrogeologische Geoinformation bewertet. Der Informationsgehalt über diese Produkte und die betrachtete Fläche streut zum Teil erheblich. Dies betrifft beispielsweise Grundwasserstände, Quelleinformationen, Deckschicht- oder Aquifermächtigkeiten.

Im Zuge der Politikberatung in Deutschland, in der europäischen Union und der Entwicklungszusammenarbeit werden zunehmend adressatenorientiert, skalenübergreifend harmonisierte Ableitungsprodukte aus wissenschaftlichen Flächeninformationen nachgefragt. Zu Themen wie Energiewende oder Anpassung an den Klimawandel werden aus hochspeziellen Fachinformationen für den Adressaten verstehbare Interpretationen mit Ableitungsprodukten

skalenübergreifend harmonisiert zu erarbeiten sein. Für die Zukunft werden vergleichbare Planungsgrundlagen zur Bewirtschaftungsfähigkeit der oberen Aquifere zum Tragen kommen.

Für die Beratung von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sind daher Interpretationsmethoden zur Vulnerabilität der Aquifere gegenüber Verschmutzung und zur nachhaltigen Bewirtschaftung den zu verwendenden Skalen sowie der verfügbaren Informationsdichte anzupassen. Hydrogeologische und bodenkundliche Methoden sind zu verknüpfen und je nach Schwerpunkt mit Verfahren aus Gewässerkunde, Meteorologie, Agrar- und Sozialwissenschaften zu kombinieren. Für fachlich-methodisch hohe Standards der Ableitungsprodukte sind enge, interdisziplinäre Kooperationen auf nationaler und internationaler Ebene unverzichtbar.

Poster

P 18.1

Die Rolle der Hydrogeologie bei der Standortsuche geologischer Tiefenlager: Fallbeispiel Schweiz

Martin Herfort¹

¹ Sektion Geologie, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Kontakt: martin.herfort@ensi.ch

Radioaktive Abfälle sollen in der Schweiz nach heutigem Planungsstand im Opalinuston (Mitteljura) entsorgt werden (ENSI 2017). Unter günstigen Standortverhältnissen gilt der Opalinuston auch langfristig als hydraulisch dicht und somit als geeignete geologische Barriere für die Ausbreitung radioaktiver Stoffe. Aus Sicht der Aufsichtsbehörde wird gezeigt, welche hydrogeologischen Prozesse und Eigenschaften als günstig angesehen werden, wie die zugehörigen Parameter erfasst werden und wie trotz parametrischer Unsicherheiten belastbare Aussagen getroffen werden können.

Literatur

ENSI (2017): Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg.

P 18.2

Bewertung erhöhter Cadmiumgehalte im Grundwasser von Niedersachsen und Bremen

Andreas Kubier¹, Dörte Budziak², Dieter de Vries³, Jörg Elbracht², Kay Hamer¹, Thomas Pichler¹

¹ Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, Fachgebiet Geochemie und Hydrogeologie

² Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Referat Hydrogeologie

³ Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Aurich, Aufgabenbereich Grundwasser

Kontakt: a.kubier@uni-bremen.de

In Niedersachsen und Bremen wurden an über 700 Grundwasser-Messstellen Cadmium-Konzentrationen gemessen, die über dem Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 0,5 µg/L liegen (GrwV, 2017). Aufgrund dieser Werte wurde bei der Beurteilung gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie der chemische Zustand mehrerer Grundwasserkörper als schlecht eingestuft. Ein schlechter Zustand erfordert Maßnahmen. Gegenstand dieses Projektes an der Universität Bremen, welches vom Land Niedersachsen gefördert und in Kooperation mit diesem durchgeführt wird, ist die Untersuchung der Ursachen dieser erhöhten Cadmiumgehalte, um geeignete Maßnahmen entwickeln zu können.

Für die Herkunft der erhöhten Cadmium-Konzentrationen im Grundwasser, sowie Mechanismen der Freisetzung wurden drei Szenarien angenommen: (1) geogener Ursprung, z.B. als Spurenstoff in Karbonaten oder Pyrit, (2)

anthropogen induzierte Mobilisierung, z.B. durch Denitrifikation von Sulfiden und (3) anthropogener Eintrag, etwa im Umfeld von Altlasten oder als Begleitelement in Phosphatdüngern.

Es lagen über 25.000 Cadmium-Analysen an mehr als 6.000 Grundwasser-Messstellen aus den Jahren 1976 bis 2016 vor. Die Auswertung dieses umfangreichen Datensatzes erforderte den Einsatz statistischer Verfahren wie Standarddatenanalysen, Tests auf Normalverteilung und nachfolgend bi- und multivariate Testverfahren, um eine priorisierte Bearbeitung der Daten zu erlauben. Zudem wurde ein Bewertungsalgorithmus entwickelt, der die Beeinflussungsart der Grundwässer typisierte. Bei ausreichender Datenlage wurden Zeitreihen an Messstellen betrachtet. Für Hydrogeologische Teilräume (Ad-hoc-AG Hydrogeologie, 2016) wurden mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz als 90. Perzentil natürliche Hintergrundwerte für Cadmium im Grundwasser abgeleitet (Wagner et al., 2014; GrwV, 2017).

Die Hintergrundwerte in den Marschen und Niederungen lagen im Mittel bei 0,13 µg/L und in den Geesten bei 0,36 µg/L. Einzelne Werte waren, ebenso wie die einiger Teilräume des Berglandes, jedoch über dem Schwellenwert von 0,5 µg/L. Die statistische Auswertung zeigte, dass zwischen Nitrat und Cadmium, sowie anderen Schwermetallen, statistisch signifikante Zusammenhänge bestehen. Von den 340 Messstellen, deren neuester Cadmiumgehalt im Grundwasser über 0,5 µg/L und über dem regionalen Hintergrundwert lag, waren 80 % landwirtschaftlich beeinflusst und zusätzlich oft versauert, was eine anthropogen induzierte Freisetzung des Cadmiums als wahrscheinliches Szenario anzeigt.

Es ist weiterhin vorgesehen, Daten zu Deposition, Boden- und Sickerwassergehalten an Boden-Dauerbeobachtungsflächen auszuwerten, sowie durch Laborversuche, z.B. sequentielle Extraktionen nach Rauret et al. (2001), das geogene Cadmiumpotential des Untergrundes sowie die Reaktions- und Transportprozesse zu bestimmen, die die Konzentrationen im Grundwasser kontrollieren. Diese Kenntnisse sollen in die Ableitung geeigneter Maßnahmen zur Verbesserung des chemischen Zustandes der Grundwasserkörper einbezogen werden.

Literatur

Ad-hoc-AG Hydrogeologie (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland – Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung. Geol. Jb., A 163, 456pp., Hannover.

GrwV (2017): Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist.

Rauret, G., López-Sánchez, Lück, D., Yli-Halla, M., Muntau, H. & Quevauviller, Ph. (2001): The certification of the extractable contents (mass fractions) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following a sequential extraction procedure – BCR 701. Zertifizierungsbericht EUR 19775, 82pp., Europäische Kommission, Brüssel.

Wagner, B., Beer, A., Bitzer, F., Brose, D., Brückner, L., Budziak, D., Clos, P., Fritsche, H.G., Hörmann, U., Hübschmann, M., Moosmann, L., Nommensen, B., Panteleit, B., Peters, A., Prestel, R., Schuster, H., Schwerdtfeger, B., Walter, T. & Wolter, R. (2014): Erläuterung zum Web Map Service (WMS) "Hintergrundwerte Grundwasser". 26pp., Hof.

P 18.3

Artesisch gespannte Grundwässer in Hessen: Analyse vorhandener Datensätze zur Bestimmung der natürlichen Rahmenbedingungen

Lara Wenzel¹, Thomas Schiedek¹, Sven Rumohr²

¹ Hydrogeologie, TU Darmstadt

² Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Kontakt: schiedek@geo.tu-darmstadt.de

Das Grundwasser ist in vielen Teilen Hessens gespannt oder sogar artesisch gespannt. Es besteht daher die Gefahr, dass artesisch gespanntes Grundwasser bei Bohrungen unkontrolliert an der Erdoberfläche austritt. Abhängig von Volumen und Druck des aus dem Bohrloch strömenden Wassers können massive Schäden an Bohrungen, Baugrund, Straßen und Gebäuden entstehen (PK Geothermie, 2011). In der hydrogeologischen Praxis sind der genaue Ort und die Tiefe von artesischen Wässern häufig nicht oder nur empirisch bekannt. Eine möglichst genaue Kenntnis der hydrogeologischen Bedingungen, unter denen artesisch gespanntes Grundwasser lokal auftritt, wäre daher nicht nur unter praktischen Gesichtspunkten sehr hilfreich, sondern kann Bohrkosten im Bereich von Artesern deutlich

senken. Diese Bedingungen sind stark vereinfacht die Morphologie und die Geologie sowie die daraus resultierende Hydraulik eines Gebietes.

Im Rahmen einer Kooperation des Hessisches Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie und der Angewandten Geowissenschaften an der TU Darmstadt wurden in einem ersten Schritt diese Bedingungen für Modellgebiete in Hessen aus Datenbanken extrahiert und mit empirischen Daten zu gespannten Grundwässern und artesischen Grundwasseraustritten in Beziehung gesetzt. Hierfür wurden die archivierten Schichtenverzeichnisse von hessischen Bohrungen, die Hinweise auf gespanntes Grundwasser und Arteser enthalten, untersucht und mit weiteren Daten verglichen. Alle Daten wurden auf ihre Aussagekraft hin überprüft, statistisch ausgewertet und anschließend ihr Einfluss auf gespannte Grundwässer eingeschätzt.

Erste Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass gespanntes sowie artesisch gespanntes Grundwasser in Hessen in einem Teufenbereich von wenigen Dezimetern bis zu 1460 Meter angetroffen werden. Generell treten in Hessen zwei Arteserarten relativ häufig auf: 1) Talarterser, die durch Überdeckungen in Tälern einen hydrostatischen Druck entwickeln. Eine Vielzahl der Bohrungen mit gemeldeten Artesern liegen z.B. in Senken oder Tälern am Taunushauptkamm. 2) An Tektonik gebundene Arteser, bei denen Grundwasser entlang von Verwerfungszonen aufsteigt und in deren Nähe an der Oberfläche austritt.

Die Ergebnisse wurden auf vier Modellgebiete in Hessen angewendet: Modellgebiet 1 von der A3 von Idstein bis an den Main bei Raunheim. Modellgebiet 2 im Westen von Frankfurt, ausgehend von Hofheim bis nach Bad Homburg. Das Modellgebiet 3 liegt entlang der Nidda, zwischen Reichelsheim (Wetterau) und Schotten. Modellgebiet 4 umfasst das Mümlingtal im Odenwald (Marbachstausee bis Breuberg). Für jedes Gebiet wurde eine Risiko-Karte erstellt. Regionen mit erhöhtem Risiko auf artesisch gespanntes Grundwasser wurden durch eine farbliche Codierung hervorgehoben. Neben einer räumlichen Eingrenzung wurden auch die abgeschätzten Teufenbereiche des jeweils vorliegenden artesischen Systems optisch herausgestellt.

Literatur

PK Geothermie der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Geologie (2011): Fachbericht zu bisher bekannten Auswirkungen geothermischer Vorhaben in den Bundesländern. Informationen aus den Bund/Länderarbeitsgruppen der Staatlichen Geologischen Dienste, Wiesbaden.

P 18.4

Zivilschutz Einsatz nach unkontrollierter Flutung von Salzbergwerken in der Ukraine

Leonard Stoeckl¹, Sven Altfelder¹, Thomas Himmelsbach¹

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Kontakt: Leonard.stoeckl@bgr.de

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat sich Ende 2016 an einer dreieinhalbwöchigen Soforthilfemaßnahme der Europäischen Kommission in der Ukraine beteiligt. In der Region Solotvyno bestand die Vermutung, dass Salzlaugen aus mehreren abgesoffenen Salzbergwerken aufgrund zunehmender Lösungsprozesse unkontrolliert in die Theiß, den größten Nebenfluss der Donau, gelangen. Dies würde zu einer internationalen Umweltkatastrophe mit erheblichen wirtschaftlichen und sozioökonomischen Konsequenzen führen.

Um das Risiko einer möglichen Salzkontamination der Theiß abzuschätzen führte das Expertenteam umfangreiche Feldarbeiten vor Ort durch und analysierte genommene Wasserproben auf chemische Inhaltstoffe und stabile Isotope an der BGR in Hannover. Zudem wurden Hochwasserrisiken analysiert und Satellitenbilder ausgewertet. Als größtes Problem wurden die sich vergrößernden Einsturzkrater identifiziert, von denen einige einen Durchmesser von über 200 m aufwiesen. Die BGR empfahl der Region eine Erweiterung der bestehenden Schutzzone und die Einrichtung eines langfristigen Monitoring Programms.



Abb. 1: EUCPT Experten vor Einsturzkrater der Salzmine No. 8

19 Forum Junge Hydrogeologen

Vorträge

O 19.1: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 12:30-12:45

Analyse und Bewertung der hydraulischen, hydrochemischen und geomechanischen Grundlagen eines Grubenwasseranstiegs in untertägigen Steinkohlenbergwerken

Sebastian Westermann¹

¹ Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola
Kontakt: sebastian.westermann@thga.de

Im Jahr 2018 endet der subventionierte Steinkohlenbergbau in der Bundesrepublik Deutschland. Damit wird auch ein jahrzehntelanger Stilllegungsprozess beendet, der schon für vielfältige Aufgaben sorgte. Im besonderen Fokus stehen ab 2019 die sogenannten Ewigkeitsaufgaben, zu denen im Wesentlichen die langfristige und umweltverträgliche Grubenwasserhaltung an Ruhr, Saar und in Ibbenbüren zählt.

Ein kontrollierter Anstieg des Grubenwasserstandes ist ein komplexer Vorgang, der mit Risiken für die Umwelt und für die Sicherheit der Tagesoberfläche, aber auch mit Chancen verbunden sein kann. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Der räumlich-zeitliche Verlauf des Grubenwasseranstiegs hängt maßgeblich von den geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften der Lagerstätte und des Deckgebirges sowie deren Veränderungen durch den bergbaulichen Prozess ab. Im europäischen Raum sind in der Vergangenheit zahlreiche Steinkohlenreviere stillgelegt worden, so dass bereits vielfältige revierspezifische Erfahrungen mit Grubenwasseranstiegen vorliegen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgt eine systematische Gesamtbetrachtung einer Vielzahl von abgeschlossenen und laufenden Grubenwasseranstiegsprozessen. Im Fokus der Betrachtung steht die Analyse des räumlich-zeitlichen Verlaufs des Grubenwasseranstiegs und der hiermit verbundenen Aus- und Wechselwirkungen auf die quantitative und qualitative Veränderung des abzuleitenden Grubenwassers, auf die prozessbedingten Bodenbewegungen sowie auf die oberflächennahen Gas-Migrationen.

Anhand der Gesamtbetrachtung sollen die mit einem Grubenwasseranstieg verbundenen, allgemeingültigen Wirkungszusammenhängen identifiziert, die lokal gültigen Besonderheiten separiert und auf andere Steinkohlenreviere, in denen Grubenwasseranstiege bevorstehen, übertragen werden. Dies gilt insbesondere für das Ruhrrevier, für den saarländischen Steinkohlenbergbau und für das Bergwerk Ibbenbüren.

Ziel ist es, aus den bisherigen Erfahrungen ein vertieftes Verständnis über alle relevanten Prozesse, die einem Grubenwasseranstieg zugrunde liegen, zu erlangen. Aus zurückliegenden Grubenwasseranstiegen sollen Rückschlüsse gezogen werden, die als Grundlage für die Optimierung der Prognosen und der Monitoringmaßnahmen hinsichtlich der potenziellen Einwirkungen auf die Umwelt dienen.

O 19.2: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 12:45-13:00

Charakterisierung von bindigen Lockersedimenten als Dichtmaterial im Untergrund

Fiona Heiser¹, Steve Kohl¹, Nadine Schmidt¹, Elisabeth Simon¹, Diana Burghardt¹, Thomas Reimann¹

¹ TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft
Kontakt: Thomas.Reimann@tu-dresden.de

Bindige Lockersedimente werden als Dichtmaterial für eine Vielzahl von Aufgabenstellungen in den Untergrund eingebracht. Zum Beispiel werden Tone in Verbindung mit Schlitzwänden für die Gründung von Bauwerken oder zur Sicherung von Altlasten und Deponien verwendet. Ebenso werden Tone als Dichtmaterial bei der Konstruktion von Dammbauwerken eingesetzt. Eine innovative Anwendung sind tiefgreifende unterirdische Dichtwände, welche im regionalen Maßstab im Zusammenhang mit der Grundwasserbewirtschaftung im Bereich des aktiven Tagebaus verwendet werden.

Für die einleitend dargestellten Anwendungen sind die spezifischen Eigenschaften der verwendeten Tone von besonderer Bedeutung, vor allem (1) das Dispersionsverhalten, d. h. die potentielle Mobilität der Teilchen, welche im Zusammenhang mit möglichen Erosionsprozessen von Interesse ist sowie (2) der Einfluss chemischer Prozesse, welcher besonders im Hinblick auf die Langzeitstabilität von Bedeutung ist.

Dieser Beitrag fokussiert auf die zuvor erwähnten, tiefen unterirdischen Dichtwände, welche im Lausitzer Braunkohlerevier eingesetzt werden, um den Grundwasserzustrom in den aktiven Tagebau zu minimieren. Der dazu verwendete Friedländer Blauton ist ein natürliches Lockersediment, welches im großtechnischen Maßstab zum Einsatz kommt. Zunächst werden die grundsätzlichen physikalisch-chemischen Prozesse analysiert, welche einen potentiellen Einfluss auf die Funktionalität einer aus Friedländer Blauton errichteten Dichtwand haben. Anschließend wird mit einem gezielt ausgewählten Spektrum an laborativen Untersuchungsmethoden der Friedländer Blauton näher charakterisiert. Mit den Ergebnissen lässt sich das Verhalten des Friedländer Blautons im Untergrund sowie die resultierende Dichtwirkung differenziert beschreiben. Darüber hinaus ist es möglich, das methodische Vorgehen auch auf andere Fragestellungen zu übertragen.

O 19.3: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 13:00-13:15

Application of neural networks for the classification of ground and surface water observation points using hydrochemical datasets – Identification of geogenic and anthropogenic sources at a former mining site

Valentin Haselbeck¹, Jannes Kordilla², Florian Krause³, Martin Sauter²

¹ Abteilung angewandte Geologie, Hydro-, Environmental Geology, Georg-August-Universität Göttingen, K+S AG

² Georg-August Universität, Abteilung angewandte Geologie

³ K+S AG, Hydro-, Environmental Geology

Kontakt: Valentin.Haselbeck@k-plus-s.com

Growing hydrochemical datasets with many measured parameters and large differences in the measured concentrations creates the demand for a method, that is able to compress information without many losses and subsequently displays it in a clear, simple and comprehensive way. Here, neural networks, a branch of artificial intelligence, is the method of choice. Kohonen's self-organizing maps (SOM) are applied to project the data onto a two-dimensional grid first and then the geometrical relationship of the projected vectors is used to perform a cluster analysis. This two-stage approach is a tool for the hydrogeologist to get a quick and understandable overview over large datasets and present those clearly and comprehensibly.

In this Master Thesis, the SOM is trained, after pre-processing, with the hydrochemical dataset, namely the major ion composition, from a former mining site. In a second step, the SOM is clustered using hierarchical clustering. At all stages, a sensitivity analysis of the crucial parameters and specifications is performed and the results controlled with quantitative and qualitative measures. Additionally, the final outcome is compared to the outcome of principal component analysis (PCA), displayed in a Piper diagram and used to make those methods "smart". The projection of test data onto the trained map can show its usability for future monitoring of changes in the chemical state. In a last step, the SOM clusters are displayed spatially in the mining area and compared to geophysical measurements and a numerical flow and transport model, modified to meet the purpose of evaluating the outcome of the SOM approach. The clustering result is also discussed and compared to previous studies. All those steps are supplemented with detailed explanations on the functionality of SOM, PCA, clustering methods and hydrogeological modeling.

The SOM clustering approach succeeded in assigning the groundwater samples automatically to a geogenic or anthropogenic source based on their major ion composition. Five different clusters, three geogenic and two anthropogenic were found and verified.

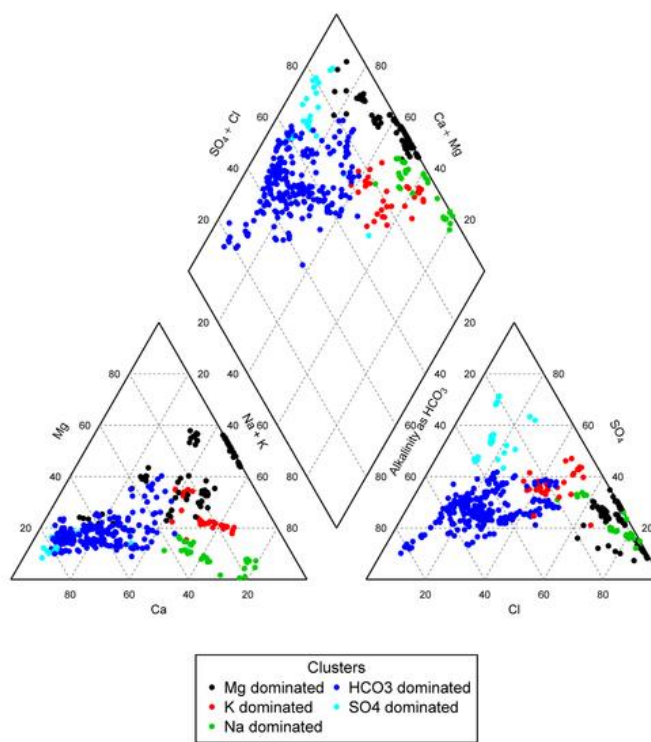


Fig. 1: Piper diagram of the SOM training data colored according to SOM clustering.

References

- Nguyen, T.T., Kawamura, A., Ngoc Tong, T., Nakagawa, N., Amaguchi, H. & Gilbuena, R. (2015): "Clustering spatio-seasonal hydrogeochemical data using self-organizing maps for groundwater quality assessment in the Red River Delta, Vietnam." In: *Journal of Hydrology* 522, pp. 661–673.
- Vesanto, J. & Alhoniemi, E. (2000): "Clustering of the Self-organizing Map." In: *Trans. Neur. Netw.* 11.3, pp. 586–600.
- Kohonen, T. (2013): "Essentials of the Self-organizing Map." In: *Neural Netw.* 37, pp. 52–65.
- Choi, B. Y., Taek Yun, S., Kyoung, H.K., JiWook, K., Hyang M. K., & Kwon Koh, Y. (2014): "Hydrogeochemical interpretation of South Korean groundwater monitoring data using Self-Organizing Maps." In: *Journal of Geochemical Exploration* 137, pp. 73–84.

O 19.4: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 13:15-13:30

Analyse des Grundwassers der Exterformation im Rahmen der ATES-Forschungsbohrung Gt BChb 1/2015 in Berlin

Lioba Virchow¹, Simona Regenspurg², Traugott Scheytt¹

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften

² Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum, Sektion 6.2: Geothermische Energiesysteme

Kontakt: lioba.virchow@campus.tu-berlin.de

Zur Speicherung von thermischer Energie werden Speichermöglichkeiten insbesondere auch in urbanen Regionen benötigt. Ein Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) könnte für die Überbrückung des zeitlichen Unterschieds zwischen Wärme- bzw. Kühlungsbedarf und -angebot dienen. Hierbei werden die Eigenschaften des Grundwassers und des Grundwasserleiters im Hinblick auf die Wärmespeicherkapazität genutzt. Saisonal wird warmes bzw. kaltes Wasser in die Formation injiziert und nach Bedarf wieder gefördert. Als Energiequellen können u.a. thermische

Solaranlagen, Abwärme aus Gebäuden oder Umgebungstemperaturen dienen. Ein thermischer Aquiferspeicher ist ein im Erdreich offenes System und muss dementsprechend sensibel geplant und vorbereitet werden.

Mit der Forschungsbohrung Gt BChb 1/2015 auf dem Campus der TU Berlin sollten mögliche Zielformationen erkundet werden. Das Abteufen dieser Bohrung fand im Rahmen eines Kooperationsprojekts vom GeoForschungs-Zentrum Potsdam mit der Technischen Universität Berlin und der Universität der Künste Berlin statt. Dabei wurde im Mai 2016 die Endteufe von 560 m u. GOK erreicht. Mit den Sandsteinen der Exterformation, unterhalb des für die Berliner Wasserversorgung wichtigen tertiären Rupeltons, wurde eine ca. 4 m mächtige Zielformation in 221 m Tiefe angetroffen und verfiltert. Im Zuge der ersten Pumptests wurden Grundwasserproben genommen und auf die Fluidbeschaffenheit analysiert.

Durch zum Teil starke Ausbrüche an der Bohrlochwand konnte Bohrspülung in die Formation eindringen. Diese war mit Uranin markiert und konnte aufgrund dessen in den Grundwasserproben eindeutig identifiziert werden. Der erhöhte pH-Wert von 8,9 und der Karbonatgehalt zeugen ebenfalls von der Kontamination mit Bohrspülung. Trotz des großen Einflusses der Bohrspülung und der unmittelbaren Nähe bzw. möglichen hydraulischen Verbindung zu den hangenden artesischen Tertiären Sanden, weisen die Ionenverhältnisse auf Exter-Grundwasser des Norddeutschen Beckens hin. Die hohe Leitfähigkeit von 40,6 mS/cm, bedingt durch eine Mineralisation von 25 g/l, und Temperaturen von 17 °C zeugen von Grundwasser aus größeren Tiefen. Unerwarteterweise traten sehr hohe Sedimentfrachten auf, welche nicht nur die Probennahme, sondern auch weitere hydraulische Tests erschwerten.

O 19.5: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 13:30-13:45

Laborexperimente zur In-situ-Sanierung von Chromatgrundwasserschäden

Nathalie Sprengel¹, Frank Wisotzky¹, Andre Banning¹

¹ Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: nathalie.sprengel@rub.de

Diese Arbeit untersucht die Wirksamkeit verschiedener Chemikalien bei der in-situ Sanierung von Chromatgrundwasserschäden unter Laborbedingungen. Grundlage sind Batchversuche mit und ohne Bodenmatrix und ein Vergleich mit dem bisherigen Forschungsstand. Bei dieser Sanierungsmethode wird die Umwandlung von Chromat (CrO_4^{2-}) zu Chromhydroxid ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) angestrebt. Während Chromat eine toxische Wirkung auf Mensch und Umwelt hat, sind Chromverbindungen in der dritten Oxidationsstufe ungiftig [1]. Während in-situ Sanierungskonzepte für organische Stoffe weit entwickelt sind, befinden sich Methoden zur Behandlung anorganischer Schadstoffe, trotz ihres gesundheitsgefährdenden Potentials, überwiegend in der Forschungsphase. Die Fällung von Chrom als chemisch stabiler und unbedenklicher Feststoff kann eine platzsparende und kostengünstige Lösung darstellen [2]. Eine Belastung des Grundwassers tritt meist durch Altablagerungen und Altlastenstandorte auf, an denen chromhaltige Lösungen zum Einsatz kamen.

Es werden insgesamt sechs verschiedene Mittel getestet, die potenziell fähig sind Cr(VI), so wie es im Chromation vorkommt, zu Cr(III) zu reduzieren. Die Auswahl der Wirkstoffe beruht dabei auf bisherigen Studien und ihrer Anwendbarkeit im Laborversuch. Getestet werden Eisensulfat (FeSO_4), Natriumthiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), Natriumdithionit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), Zitronensäure, Ascorbinsäure und Melasse. Ebenfalls wird der Einfluss der Bodenmatrix untersucht. Zunächst erfolgen rein aquatische Batchversuche, darauffolgend Versuche mit Böden mit Kaliumchromatlösung als Chromatquelle. Nach 24 h Reaktionszeit erfolgt eine Filtration und Messung des Cr-Gehaltes mittels ICP-OES.

Bei den aquatischen Versuchen ist eine erfolgreiche Reduktion von Chromat durch FeSO_4 (>99% Entfernung bei pH 10,6), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (65% Entfernung bei pH 9,4) wie auch einem 1:1 Gemisch beider Mittel (>99% Entfernung bei pH 10,5) zu verzeichnen. Eine Ausfällung zu $\text{Cr}(\text{OH})_3$ findet jedoch nur bei Einhaltung eines pH-Wertes, durch Zugabe von Lauge, zwischen 8 und 11 statt. Die Versuche zeigen, dass auch der Zeitpunkt der Zugabe eine Auswirkung auf die Reduktionsfähigkeit hat. Eine Abnahme der Cr-Konzentration durch $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ oder organische Säuren konnte nicht festgestellt werden. Jedoch ist eine Entfärbung der ursprünglich stark gelb gefärbten Probe bei der Reaktion mit Ascorbinsäure zu verzeichnen. Dies spricht trotz fehlender Ausfällung für eine Reduktion. In der Versuchsreihe mit Sediment können ebenfalls Entfärbungen der Lösungen nach 24 h beobachtet werden. Dies ist bei den Proben mit

FeSO₄, Gemisch aus FeSO₄ und Na₂S₂O₄ und Ascorbinsäure der Fall. Die Einhaltung eines konstanten pH-Wertes durch die Reaktion mit den Böden ist jedoch problematisch. Messungen der Cr-Gehalte liegen zur Abgabefrist des Abstracts noch nicht vor. Eine anschließend vorgesehene Modellierung mit PhreeqC ermöglicht es weiterhin, die Wirkung der Reduktionsmittel umfassend zu beschreiben.

Literatur

- [1] Fuhrmann, G. (2006): Toxikologie für Naturwissenschaftler, Einführung in die Theoretische und Spezielle Toxikologie. 217-223 S., Wiesbaden
 [2] Müller, P. & Mischitz, R. (2012): In-Situ-Sanierung von Chromschäden durch Reduktionsprozesse. Technische Arbeitshilfe, Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben

O 19.6: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 13:45-14:00

Abbau- und Transportverhalten von Tierarzneimitteln in der gesättigten Zone – Laborversuche zur räumlichen Heterogenität

Anne Mehrtens¹, Victoria Burke¹

¹ AG Hydrogeologie, Universität Oldenburg
 Kontakt: anne.mehrtens@uni-oldenburg.de

Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen belegen die Anwesenheit von Arzneimittelrückständen in der Umwelt. Als Haupteintragspfad für Tierarzneimittel gilt die Verwendung von Gülle als organisches Düngemittel. Zu den diversen negativen Folgen für die Umwelt gehört beispielsweise die Ausbildung von Resistenzgenen durch die weiterhin aktiv wirksamen Substanzen [2]. Um der Verbreitung der ökologisch bedenklichen Stoffe entgegenzuwirken, fehlt jedoch noch das nötige Wissen um jene Parameter, die das Umweltverhalten der Substanzen maßgeblich beeinflussen.

Eine geeignete Methode Sorption und Abbau von organischen Schadstoffen zu untersuchen, stellen Säulenversuche dar. Unter kontrollierten Laborbedingungen können die Randbedingungen des Versuchs wie der pH-Wert oder die Temperatur entsprechend variiert werden. Dennoch können in der Umwelt auftretende Prozesse nur unzureichend simuliert werden und der Transfer der Ergebnisse auf den Feldmaßstab stellt eine Herausforderung dar [1].

Ziel der Studie war es detaillierte Informationen über das Abbau- und Transportverhalten von Veterinärpharmazeutika in der wassergesättigten Zone zu erhalten und dabei die räumliche Heterogenität zu berücksichtigen. Dazu wurden ausgewählte Antibiotika aus den Gruppen der Tetrazykline, Sulfonamide und Makrolide in fünf parallellaufenden Säulen untersucht. Die einen Meter langen, ungestörten Sedimentkerne stammten von drei unterschiedlichen Standorten und wurden unter gesättigten Bedingungen mit einer von unten nach oben gerichteten Fließrichtung betrieben. Der Versuchsaufbau ermöglichte eine tiefendifferenzierte Probenahme, sodass nicht nur Ein- und Ausgangskonzentration betrachtet, sondern umfassende Tiefenprofile abgebildet werden konnten. Die Zielsubstanzen wurden nach der Probennahme durch Festphasenextraktion aus den Wasserproben angereichert und im Anschluss mittels Flüssigkeitschromatographie mit Tandem-Massenspektrometrie-kopplung (LC-MS/MS) analysiert. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die (räumliche) Heterogenität von Sorptionskoeffizienten und Abbauratenkonstanten der Zielsubstanzen.

Literatur

- [1] Banzhaf, S., & Hebig, K.H. (2016): Use of column experiments to investigate the fate of organic micropollutants—a review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3719.
 [2] Burke, V., Richter, D., Greskowiak, J., Mehrtens, A., Schulz, L., & Massmann, G. (2016): Occurrence of Antibiotics in Surface and Groundwater of a Drinking Water Catchment Area in Germany. *Water Environment Research*, 88(7), 652-659.

O 19.7: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 14:00-14:15

Conceptual model-based approach for improved monitoring network design, Ammer River valley floodplain, southwest Germany

Simon Martin¹, Stefan Klingler¹

¹ Centre of Applied Geoscience, University of Tübingen

Kontakt: simon.martin@student.uni-tuebingen.de

The fate and behavior of anthropogenic pollutants on the catchment scale is poorly understood. CAMPOS (Catchment as Reactors: Metabolism of Pollutants on the Landscape scale) is a multi-disciplinary research project aimed at investigating the biogeochemical turnover within critical catchment landscape features, such as floodplains. Typical modern river valleys in humid areas with low topographic gradient show high content of fine sediments in wide floodplain areas. Such fluvial depositional environments are highly variable in both vertical and lateral direction, hence a detailed knowledge on the subsurface structure is necessary to assess the preferential pathways of groundwater flow and solute transport. The floodplain under investigation, located in the Ammer River valley near Tübingen, represents a typical fluvio-lacustrine sedimentary setting in floodplains, where a thick postglacial Quaternary valley fill overlies a Triassic bedrock. The preliminary site characterization involved a collaborative approach of geological, hydrogeological and hydrogeophysical field methods, investigating two partially separated groundwater systems. Multi-scale heterogeneity and high contents of fine sediments presented challenges for the commonly applied hydrogeological and geophysical field techniques. Furthermore, the ability to draw meaningful interpretations from the preliminary results were strongly limited by gaps in accurate conceptual knowledge concerning the floodplain boundary conditions. For this reason, a forward modeling exercise was undertaken to aid in the planning of efficient field campaigns in the future. By identifying the data-critical regions and providing insight to measurable contrast of parameters of interest, this exercise looked to better guide the choice of field methods for the future campaigns. The results of the forward modelling highlight the importance of having a conceptual model-driven approach when planning monitoring networks and choice of field methods. Within the study site, the data-critical regions were identified as areas where data is scarce and possible unidentified boundary conditions exist for the groundwater flow system. Subsequent field campaigns will look to target these data-critical regions and further investigate their control on the regional groundwater flow and solute transport within the floodplain.

O 19.8: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 14:15-14:30

Methodenvergleich zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung an ausgewählten Standorten in Hessen

Kristina Hengsberger¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Darmstadt

Kontakt: k.hengsberger@web.de

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wird in den staatlichen geologischen Diensten vorwiegend über die auf einem Verweilzeitenmodell basierende Methode nach Hölting et al. (1995) ermittelt. Vor allem international werden jedoch viele weitere Methoden angewendet, um die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung bzw. die Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwasserkörpers abzubilden (Magiera, 2000).

Vorgestellt werden soll der Vergleich der Punktbewertungsmethode nach Hölting et al. mit fünf weitere Punkt- bzw. Indexverfahren. Die Resultate aus dem für Hessen bereits existierenden Modell nach Hölting et al. werden demnach den Ergebnissen aus den Verfahren DRASTIC, SINTACS, SI, AVI und GOD gegenübergestellt. Die Auswahl dieser Verfahren wurde anhand der vorhandenen Daten im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie getroffen. Unterschiede und Gemeinsamkeiten, Vor- und Nachteile, sowie ggf. Verbesserungsvorschläge werden herausgearbeitet. Ein Fokus liegt dabei auch auf den möglicherweise unterschiedlichen Einflüssen der Methoden auf

die Ergebnisse in Gebieten mit Kluft- und Porengrundwasserleitern. Dementsprechend wurde ein Standort mit Porengrundwasserleiter (Babenhausen) und ein Standort mit Kluftgrundwasserleiter (Fulda-West/Großenlöder) ausgewählt.

Die Methoden DRASTIC, SINTACS, SI ähneln dem Verfahren nach Hölting et al. Sie basieren auf einem gewichteten Punktbewertungssystem und unterscheiden sich untereinander in Auswahl und Wichtung der jeweiligen Parameter. Die Verfahren AVI und GOD beziehen, im Vergleich zu den anderen Methoden, nur zwei bzw. drei Parameter in die Berechnung des Indexwertes ein und sind daher für mögliche Untersuchungen in Gebieten mit geringer Datenlage von Interesse.

Alle Methoden basieren auf einer abschließenden Klasseneinteilung der Punkt- bzw. Indexwerte von z.B. „hoch empfindlich“ bis „gering empfindlich“ für Verschmutzungen und einer daraus entstehenden graphischen Darstellung in Schutzfunktions- bzw. Verschmutzungsempfindlichkeitskarten.

Die Definition der Vulnerabilität des Grundwassers nach Vrba & Zaporozec (1994) als eine „relative, nicht messbare, dimensionslose Eigenschaft“ zeigt die aufkommende Problematik beim Vergleich der erstellten Schutzfunktions- bzw. Verschmutzungsempfindlichkeitskarten. Unterschiedlichen Klasseneinteilungen, die damit einhergehende unterschiedliche Definition von „hoch“ bzw. „gering“, sowie die Qualität der Daten müssen bei der Nutzung berücksichtigt werden.

Neben der Anwendung der Methoden wird deshalb auch Bezug auf die praxisbezogene Nutzung der Modelle genommen und jedes Modell einer kritischen Betrachtung unterzogen.

Literatur

Hölting, B., Haertle, T., Hohberger, K.-H., Nachtigall, K.H., Villinger, E., Weinzierl, W., & Wrobel, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung, Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Band 63, S. 5-24.

Magiera, P. (2000): Methoden zur Abschätzung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers, Grundwasser, Band 3, S. 103-114.

Vrba, J. & Zaporozec, A. (1994): Guidebook on mapping groundwater vulnerability, International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology, Vol. 16, Verlag Heinz Heise, Hannover

O 19.9: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 14:30-14:45

Hydrogeologie des Hagengebirges

Erik Buske¹

¹ Freie Universität Berlin

Kontakt: erik.buske@fu-berlin.de

Das Hagengebirge ist ein Plateaugebirge der Berchtesgadener Kalkalpen und liegt rund 30km südlich von Salzburg im deutsch-österreichischen Grenzgebiet. Die Geologie ist geprägt durch starke Verkarstungen und zwei Störungszonen. Die nördliche Begrenzung ist durch das Bluntautal und die O-W verlaufende Torrener-Joch-Störungzone definiert. In dieses Tal entwässern diverse Karstquellen und auch zwei Karstriesenquellen. Die größte dieser Riesenquelle ist die schwarze Torren. Messungen der Leitfähigkeit zeigen niedrige Leitfähigkeiten bei Hoch- und Trockenwasser, allerdings sehr hohe Leitfähigkeiten bei mittleren Abflüssen. Dies lässt auf ein komplexes Mehrkomponentensystem schließen. Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Erarbeitung eines konzeptionellen Modells, welches die Besonderheiten der Tektonik, der Verkarstung und der hydrochemischen Parameter erklären. Durch die intensive Kartierung der Quellen, neuartige Erfassung von periodischen Quellen mittels Wildkameras und umfangreiche Druckdaten des Kastwasserspiegels, in zu diesem Zweck instrumentierten Höhlen, werden sich neue Erkenntnisse erhofft.

O 19.10: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 15:00-15:15

Karbonatische Aktivarkosen als Quelle hoher Urankonzentrationen im fränkischen Grundwasser

Jacqueline Steffanowski¹, Andre Banning²

¹ Universität Innsbruck

² Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: J.Steffanowski@gmx.net

Im nördlichen Bayern (Oberfranken) liegen erhöhte Urankonzentrationen im Grundwasser vor, wobei sowohl Ursache als auch zugrundeliegende geochemische Prozesse nicht vollständig verstanden sind. Bereits Dill (1988) klassifizierte für diese Region drei verschiedene U-führende sedimentäre Fazies, die den vorliegenden Sandstein entweder als silikatischen, dolomitischen oder phosphatischen Sandstein einordneten und dies mit den erhöhten U-Gehalten der Region in Verbindung setzte. Aufgegriffen wurde dies von Banning und Rüde (2015), welche die Verwitterung uranreicher Apatite als Verursacher der erhöhten Urankonzentration in Mittelfranken nachweisen konnten. Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die uranföhrnde dolomitische Fazies im triassischen Sandsteinaquifer Nordbayerns als potentielle Quelle gelösten Urans im regionalen Grundwasser. Hydrochemische und mineralogische analytische Methoden (INAA, ICP-OES, XRD, SEP, C/S Messungen) in Verbindung mit sowohl vom LFU Bayern zur Verfügung gestellten hydro- und geochemischen Datensätzen als auch eigens durchgeführter hydrogeochemischer Modellierungsansätze zeigen eine deutliche Verbindung zwischen Uran im Grundwasser und der dolomitischen Fazies auf. Höchste Urankonzentrationen ($\max 58,3 \mu\text{g L}^{-1}$) kommen unter schwach alkalischen und oxischen bis schwach reduzierenden Bedingungen vor. Uranspezies werden im Untersuchungsgebiet von mobilem U(VI) dominiert, hauptsächlich in Form von Uranylkarbonat-Komplexen. Das Grundwasser ist im Hinblick auf Uran-Mineralphasen untersättigt. Zusätzlich konnten durch die Verwendung einer an die Fragestellung angepassten sequentiellen Extraktion (SEP) hohe Urananteile in karbonatischer Bindungsform in den Gesteinsproben ermittelt werden. Eine positive Korrelation des Dolomits (XRD) mit Ca- sowie U-Gehalten (INAA) unterstützen abschließend die Annahme, dass die Mobilisierung des dolomitisch gebunden Urans als ein potentieller geogener Verursacher der erhöhten Urankonzentration im Grundwasser verantwortlich ist.

Literatur

Banning, A. & Rüde, T.R. (2015): Apatite weathering as a geological driver of high uranium concentrations in groundwater. - *Appl. Geochem.*, 59: 139–146.

Dill, H.G. (1988): Diagenetic and epigenetic U, Ba, and base metal mineralization in the arenaceous Upper Triassic “Burgsandstein”, Southern Germany. - *Miner. Pet.* 39(2): 93–105.

O 19.11: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 15:15-15:30

Untersuchung der hydraulischen Anisotropie von fluvialen Kies-Grundwasserleitern

Ruth Maier¹, Olaf A. Cirpka¹, Carsten Leven¹, Bernhard Odenwald², Daniel Strasser²

¹ Eberhard Karls Universität Tübingen

² Bundesanstalt für Wasserbau

Kontakt: ruth.maier@hotmail.de

Zur Planung und Dimensionierung von Wasserhaltungsmaßnahmen für Baugruben, die tief in das Grundwasser reichen, sind meist umfangreiche geohydraulische Voruntersuchungen erforderlich. Üblicherweise wird der Durchlässigkeitsbeiwert mit der analytischen Auswertung von Pumpversuchen ermittelt, die auf der Annahme von isotropen und homogenen Untergrundverhältnissen basiert. Fluviale Grundwasserleiter sind jedoch häufig anisotrop, wodurch die räumliche Ausbreitung des Absenkebeckens und des Grundwasserzustroms zur Baugrube maßgeblich beeinflusst werden. Dies hat beträchtliche Auswirkungen auf die notwendige Pumprate, um den Grundwasserspiegel auf einen bestimmten Wert abzusenken. Insbesondere bei wasserbaulichen Maßnahmen an Gewässern können so erhebliche Mehrkosten durch eine überdimensionierte Ausführung der Wasserhaltungsmaßnahmen entstehen. Um dieses Risiko

zu minimieren, entwickeln wir eine Methode, um die Anisotropie der Durchlässigkeit in fluvialen Kies-Grundwasserleitern möglichst genau zu bestimmen.

Erste Versuche basieren auf einer inversen Schätzung der hydraulischen Durchlässigkeit in horizontaler und vertikaler Richtung mithilfe numerischer Modellberechnungen und einer anschließenden Kalibrierung mit Absenkungsdaten aus instationären Pumpversuchen. Der Kern des Ansatzes besteht darin, Pumpversuche in unvollständigen Brunnen unterschiedlicher Tiefe durchzuführen und tiefenorientiert zu beobachten. Eine besondere Herausforderung besteht darin, Effekte der räumlichen Variabilität von solchen der Anisotropie zu trennen. Erste Feldversuche fanden am Versuchsfeld Lauswiesen im Neckartal bei Tübingen statt. Im weiteren Projektverlauf soll ein zusätzliches Naturmessfeld bei Kappel-Grafenhausen im Oberrheingraben zur Durchführung großskaliger Feldversuche eingerichtet werden.

Literatur

- Therrien, R., McLaren, R. & Sudicky, E. (2010): Hydrogeosphere: A three-dimensional numerical model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport.
- Odenwald, B. & Ratz, K. (2012): Prevention of internal erosion by cut-off walls in river embankments on the upper rhine. - In: La Houille Blanche, (4-5):48-53.
- Doherty, J., Brebber, L. & Whyte, P. (1994): PEST: Model-independent parameter estimation. - In: Watermark Computing, Corinda, Australia, 122.
- Leven, C. & Dietrich, P. (2006): What information can we get from pumping tests? - comparing pumping test configurations using sensitivity coefficients. - In: Journal of Hydrology, 319(1): 199-215.
- Moench, A.F. (1995): Combining the Neumann and Boulton models for flow to a well in an unconfined aquifer. - In: Ground Water, 33(3):378-384.
- Neuman, S.P. (1975): Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed yield gravity response. - In: Water Resources Research, 11(2): 329-342.

O 19.12: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 15:30-15:45

Beständigkeit von zementgebundenen Thermoverfüllbaustoffen in Wärmespeichern und deren geochemische Wechselwirkungen mit dem Grundwasser in Abhängigkeit der Temperatur

Kerstin Meier zu Beerentrup¹, Andreas Dahmke¹

¹ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Kontakt: kerstin.beerentrup@ifg.uni-kiel.de

Wärmespeicher können den zeitlichen Versatz zwischen Wärmeproduktion und -bedarf auf verschiedenen Skalen überbrücken und so einen wichtigen Beitrag zum Erfolg der Energiewende im Wärmesektor leisten. Eine Möglichkeit zur Speicherung von Wärme bietet der Einbau von zementgebundenen Thermoverfüllbaustoffen (TVB) in ungenutzte Hohlräume im Untergrund. Dies ermöglicht einen flexibel skalierbaren, an das Wärmeangebot und den -bedarf angepassten Speicher. Die geringe Permeabilität der TVB beschränkt Interaktionen mit der Umwelt weitestgehend auf die TVB-Oberfläche. Das Ziel der hier vorgestellten experimentellen Studie lag in der Quantifizierung der temperaturabhängigen Wechselwirkungen zwischen zwei untersuchten TVB und dem Grundwasser. Der Fokus wurde hierbei auf eine mögliche temperaturabhängige Freisetzung umweltrelevanter Stoffe in das Grundwasser und auf mögliche Veränderungen in der Beständigkeit der TVB gelegt. Hierfür wurden Standtests bei 10°C, 23°C, 40°C und 70°C durchgeführt, in denen die TVB in einem Oberflächen-Flüssigkeit-Verhältnis von 1 cm²: 8 cm³ als monolithische Körper für 114 Tage mit Grundwasser in Kontakt gebracht wurden. Das mit den TVB-Körpern in Kontakt stehende Wasser wurde in regelmäßigen Abständen ausgetauscht und auf pH, Hauptkat- und Anionen analysiert. Analysen für die gelösten Konzentrationen 20 relevanter Schwermetalle und Spurenelemente stehen noch aus. Die thermische Beständigkeit der TVB wird am Ende der Versuche mit Mikrosondenanalysen bewertet.

Die Analyseergebnisse der gelösten Hauptkomponenten im mit dem TVB in Kontakt stehenden Wasser zeigen hauptsächlich eine Festlegung von gelöstem anorganischem Kohlenstoff (IC_{diss}) sowie von Calciumionen (Ca²⁺) und eine Freisetzung von Hydroxidionen (OH⁻). Bei 23°C Versuchstemperatur ist die durchschnittliche Gesamtfestlegung bzw. -freisetzung (E_n) nach 114 Tagen in einer ähnlichen Größenordnung wie bei 10°C (E_n [IC_{diss}] 10°C:

-310 mmol/m², 23°C: -340 mmol/m²; E_n [Ca²⁺] 10°C: -170 mmol/m², 23°C: -200 mmol/m²; E_n [OH⁻] 10°C: 1 mmol/m², 23°C: 2 mmol/m²). Bei 70°C wurde hingegen eine deutlich stärkere Festlegung bzw. Freisetzung gemessen (E_n [IC_{diss}] 70°C: -930 mmol/m²; E_n [Ca²⁺] 70°C: -260 mmol/m²; E_n [OH⁻] 70°C: 530 mmol/m²). Vorversuche hinsichtlich der Schwermetallfreisetzung deuten auf verstärkte Chromfreisetzung aus TVB bei einer Temperaturerhöhung hin. Inwieweit diese umweltrelevant sein könnte, kann erst nach Analyse der Standtests bewertet werden. Hinsichtlich des Hauptelementchemismus wird es bei einer Temperaturerhöhung, wie hier für zwei TVB gezeigt, hauptsächlich zu Ca(OH)₂-Lösung und CaCO₃-Fällung kommen.

Die vollständige Bewertung der Relevanz der verstärkten Interaktionen zwischen TVB und Grundwasser bei höheren Temperaturen für die Prognose möglicher Folgen einer Wärmespeicherung in TVB ist allerdings erst nach den noch ausstehenden Analysen möglich.

Die präsentierte Arbeit ist Teil des IGLU-Projekts (BMW, 0325547B).

O 19.13: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 15:45-16:00

Untersuchung und Modellierung von Grundwasseraustauschprozessen in einem Küstenmoor in Mecklenburg-Vorpommern

Miriam Ibenthal¹, Thomas Ptak², Gudrun Massmann³, Bernd Lennartz¹, Manon Janssen¹

¹ Bodenphysik, Universität Rostock

² Angewandte Geologie, Universität Göttingen

³ Hydrogeologie, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg

Kontakt: miriam.ibenthal@uni-rostock.de

Als Teil des DFG-Graduiertenkollegs Baltic TRANSCOAST zur Untersuchung geochemischer, biologischer und hydrodynamischer Vorgänge an einem niedrig gelegenen Küstenabschnitt der Ostsee werden hier die Grundwasserwechselwirkungen untersucht und vorgestellt. Küstenmoore zeichnen sich durch eine starke Wechselwirkung land- und meerseitiger Prozesse wie Überflutungsereignisse und Grundwasseraustritte oder Salzwasserintrusion aus. Nährstoff- und Salztransport beeinflussen geochemische Prozesse sowohl in den Küstensedimenten als auch im Torf. Durch Renaturierungsmaßnahmen des ehemals entwässerten Moores änderte sich die hydrologische Situation erheblich. Ziel dieser Untersuchung ist die Bestimmung ursächlicher Faktoren, die den Austausch von landseitigem Süß- und mehrseitigem Salzwasser entlang der Küste steuern und somit geochemische Reaktionen am Land und im Meer beeinflussen.

Das Küstenmoor ist durch eine Küstenschutzdüne von der Ostsee getrennt und besteht aus einer bis zu drei Metern mächtigen Torfschicht, darunter folgen Beckensande über Geschiebemergel. Die Torfschicht lässt sich bis ins Flachwasser der Ostsee nachweisen und hat aufgrund ihrer zum Teil starken Zersetzung und damit verringerter hydraulischer Durchlässigkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Grundwasseraustauschprozesse an der Küste.

Als Grundlage zur Charakterisierung der Grundwasserfließprozesse dient ein dichteabhängiges 3-D Grundwasserströmungsmodell. Geologische Erkundung, Slug-Tests und Korngrößenanalysen wurden im Vorfeld durchgeführt. Eine Kalibrierung des Modells erfolgt mit Hilfe kontinuierlicher Messdaten der Wasserstände und elektrischen Leitfähigkeiten in der Torfschicht und im Aquifer. Durch Altersdatierung (He³-Tritiummethode), Ionenzusammensetzung und Leitfähigkeitsmessungen können Fließwege des Grundwassers und der Austausch mit Oberflächenwasser identifiziert werden. Verbindungen zum Oberflächenwasser erfolgen zum Teil über Abflussgräben und in Abhängigkeit der Mächtigkeit und des Zersetzungsgrades der Torfschicht. In Küstennähe wurde Salzwasserintrusion bei Sturmfluten dort beobachtet, wo der Dünendeich in Folge von Sturmfluten am stärksten ausgedünnt ist. Ein Aussüßen erfolgt bei erhöhtem Wasserstand landseitig. Frühere Überflutungen des Moores sind durch erhöhte elektrische Leitfähigkeiten im Aquifer auch heute noch nachweisbar.

O 19.14: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 16:00-16:15

The Influence of Karst Aquifer Mineralogy and Geochemistry on Groundwater Characteristics: West Bank, Palestine

Hassan Jebreen¹, Andre Banning¹, Andrea Niedermayr¹, Stefan Wohnlich¹

¹ Applied Geology-Hydrogeology, Ruhr Universität Bochum

Kontakt: hassan.jebreen@rub.de

This work reports, for the first time, the mineralogical and geochemical characteristics of karst aquifers in the Central West Bank (CWB) catchment in Palestine. It provides an integrated study approach by correlating geochemistry and hydrochemical data of groundwater samples. Groundwater and aquifer rock samples were collected from 20 different spring water sites at CWB. The crushed rock geochemistry and mineralogy of the samples was investigated using INAA, ICP-MS, ICP-OES and XRD, while hydrochemical analyses included on-site physico-chemical parameters, HPLC and ICP-MS. Further aliquots of the samples were analyzed for carbon (C_{org}/C_{inorg}) and sulfur (S_{total}/S_{pyrite}) contents in a combustion analyzer. The mineralogical analysis showed that all samples are dominantly composed of either calcite $CaCO_3$ (5-100 wt%) or dolomite $CaMg(CO_3)_2$ (4-100 wt%), with minor amounts of quartz and feldspar, which is supported by inorganic carbon content (9–13 wt%) and hydrochemical composition of spring water samples. Ionic ratios were used to delineate mineral-solution reactions and weathering processes. All of the investigated groundwaters are categorized into one hydrochemical type: slightly mineralized and neutral to slightly basic waters of Ca-Mg- HCO_3 type with EC and pH values ranging from 132 to 590 $\mu S/cm$ and 7.1 to 8.0, respectively. Interpretation of the chemical data suggests that the evolution of groundwater composition is primarily controlled by (1) water-rock interaction processes, involving dissolution of carbonate minerals (calcite and dolomite), and (2) cation exchange. The whole-rock geochemical data indicate that the samples have low contents of trace elements and transition metals. In contrast, the concentrations of alkaline earth elements (Mg, Ca, Sr, Ba) and Mn are high in rock and groundwater samples. Generally, the trace elements of rock samples with concentrations >10 ppm include Sr (17–330 ppm), Mn (17–367 ppm), Ba (2–32 ppm), W (5–37 ppm), Cr (3–23 ppm), Zn (1.7–28 ppm), V (4–23 ppm), and Zr (1–22 ppm), while the concentration of all the other trace elements is below 10 ppm. Geochemical compositions results were also subjected to the Hierarchical Cluster Analysis (HCA), results hint at two distinct groups of samples that correspond to the dolomite and calcite dissolution. This separation is clear in alkaline earth elements (Mg, Ca, Sr, Ba), especially Sr values. The calcite rock samples have higher Sr (mean 170 ppm, $n=11$) than those of the dolomite rocks (mean 76 ppm, $n=9$).

O 19.15: Vortragsreihe 3, 21.03.2018, 16:15-16:30

Participatory water management in India: Theory and practice

Theresa Frommen¹, Maike Groeschke², Michael Schneider²

¹ Arbeitsgruppe Hydrogeologie, Institut für Geologische Wissenschaften, FU Berlin

² Abteilung 2: Grundwasser und Boden, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Kontakt: theresa.frommen@fu-berlin.de

When turning our attention away from the (ground-)water situation in industrialized countries and setting the focus on countries characterized by rapid population growth, urbanization and climate change impacts, it becomes clear that the exploration of groundwater resources alone is not a sufficient basis for initiating water management strategies to solve water problems in both quality and quantity. Hydrogeology projects in such countries, therefore, increasingly focus on bottom-up approaches and cooperation between hydrogeologists and social scientists (see UpGro project by BGS). The advantage of this method is that it puts both, the solutions which are locally implemented to solve water problems (e.g. by NGOs or government) and the outcomes of hydrogeological research projects, to a more sustainable use. However, in pursuing this approach numerous unexpected challenges have to be overcome.

Insights from an ongoing case-study in Jaipur, India, focusing on participatory community-based water management in low-income areas, under the lead of the Indian NGO Mahila Housing SEWA Trust and funded by the Global Resilience Partnership, illustrate the challenges hydrogeologists face both during the field work and in the cooperation with local partner organizations. One of the biggest challenges are the often unrealistic expectations people have towards hydrogeological research, as they assume it will solve all water-related problems in a short time. Additionally, the work is highly influenced by the way people imagine groundwater, which has also a huge impact on how they deal with it. A basic understanding of groundwater as well as of the necessity of an ongoing monitoring, however, is of great importance for the sustainability of a participatory approach.

Poster

P 19.1

Ermittlung der Uferfiltratanteile der Brunnen des Wasserwerks Friedrichshagen, Berlin

Charlotte Altmannsberger¹, Michael Schneider¹, Ulrich Struck², Gesche Grützmacher³

¹ Arbeitsbereich Hydrogeologie, Freie Universität Berlin

² Arbeitsbereich Hydrogeologie, Freie Universität Berlin und Museum für Naturkunde Berlin

³ Berliner Wasserbetriebe

Kontakt: chaltman@zedat.fu-berlin.de

Die Berliner Trinkwasserversorgung basiert auf Grundwasser mit einem Uferfiltratanteil von durchschnittlich 70%. Bedingt durch den Grundwasserwiederanstieg im Lausitzer Braunkohlebergbauegebiet und der Direkteinleitung von Oberflächenwasser aus den Tagebaurestseen in die Spree, konnte in den letzten Jahren eine nachteilige Veränderung der Oberflächengewässerqualität im Einzugsgebiet des am Müggelsee gelegenen Wasserwerks Friedrichshagen beobachtet werden. Durch die naturnahe Trinkwasseraufbereitung wird Sulfat nicht entfernt und folglich waren auch im Reinwasser des Wasserwerks Friedrichshagen Sulfatwerte von über 200 mg/L nachweisbar. Da dauerhaft hohe Sulfatkonzentrationen gesundheitliche und ökologische Folgen haben sowie Infrastrukturschäden mit sich bringen, gilt es, Möglichkeiten zu identifizieren, mit denen die Sulfateinträge reduziert werden können, um dem Minimierungsgebot der Trinkwasserverordnung Rechnung zu tragen und eine Überschreitung des Grenzwertes (250mg/L) im Trinkwasser zu vermeiden.

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Ermittlung der Uferfiltratanteile der Brunnen des Wasserwerks Friedrichshagen dient zur Optimierung des Brunnenmanagements der Berliner Wasserbetriebe. Zur Unterscheidung von Uferfiltrat und landseitigem Grundwasser wurden die stabilen Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 als Umwelttracer eingesetzt. Über eine Mischungsgleichung wurden die Uferfiltratanteile der Brunnen ermittelt. Die Isotopensignatur und Hydrochemie wurden bei insgesamt 86 Wasserproben an ausgewählten Standorten im Untersuchungsgebiet bestimmt. Die Geländearbeit fand im Juni und Juli 2017 an Oberflächenwassermessstellen, seeseitigen Grundwassermessstellen, Trinkwasserbrunnen, landseitigen Grundwassermessstellen und den Sammelleitungen der Brunnengalerien statt.

Unter Berücksichtigung aller hydrogeologischen und hydrochemischen Bedingungen wurden die untersuchten Standorte in Transekten eingeordnet und die Uferfiltratanteile der ausgewählten Brunnen ermittelt. Nach einer Fehlerbeurteilung der Methodik wurde anschließend eine Charakterisierung aller 200 Brunnen des Wasserwerks Friedrichshagen vorgenommen, um diese in Brunnengruppen einzuteilen. Dabei repräsentiert ein beprobter Brunnen eine Brunnengruppe und verbunden mit den ermittelten Uferfiltratanteilen der jeweiligen Sammelleitung kann ein Annahmebereich für die Uferfiltratanteile von jedem Brunnen des Wasserwerks Friedrichshagen getroffen werden. Darauf basierend wird eine Empfehlung für das Brunnenmanagement ausgesprochen mit dem Ziel, bei weiter steigenden Sulfatgehalten im Oberflächengewässer, die Möglichkeit einer Minimierung der Sulfatkonzentrationen im Reinwasser zu identifizieren.

P 19.2

Grundwasserversalzung in den Einzugsgebieten der Berliner Wasserbetriebe – Eine physikochemische Charakterisierung

Christoph Pflug¹

¹ AB Hydrogeologie, Freie Universität Berlin

Kontakt: christoph.pflug@fu-berlin.de

Die Wasserversorgung der Stadt Berlin wird fast ausschließlich aus dem eigenen Stadtgebiet sichergestellt, was eine Besonderheit in Deutschland darstellt. Das geförderte Rohwasser setzt sich hierbei durchschnittlich zu 60% aus Uferfiltrat, zu 30% aus Grundwasserneubildung und zu 10% aus Grundwasseranreicherung zusammen. Die im Raum Berlin genutzten überwiegend quartären Grundwasserleiter werden durch eine geringdurchlässige Schicht des Unteroligozäns, dem Rupelton, von tiefen Salinarwässern getrennt. An tektonisch- oder erosionsbedingten Fehlstellen des Rupeltons kann es zu einem Aufstieg des Salzwassers in das süßwasserführende Grundwasserstockwerk kommen. Die Gefahr des Salzwasseraufstiegs wird durch die hydraulische Entlastung im Bereich von Wasserwerksbrunnen verstärkt. Die Beeinflussung der Rohwasserbeschaffenheit von Brunnen mehrerer Wasserwerke durch tiefe salinare Wässer ist ein seit Jahrzehnten bekanntes Problem. Ziel dieser Arbeit ist es, den Prozess der geogenen Grundwasserversalzung im Einzugsgebiet der Wasserwerke der Berliner Wasserbetriebe (BWB) im Detail zu untersuchen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der hydrochemischen, sowie isotonenphysikalischen (d₂-H, d₁₈-O, ggf. 14-C) Analyse salzbeeinflusster Grundwässer aus tief ausgebauten Grundwassermessstellen. Durch die Charakterisierung dieser Wässer können Rückschlüsse auf den Ursprung und die Genese der Salzwässer gezogen und gegebenenfalls regionale Unterschiede herausgearbeitet werden. Ferner sollen Mischungsanteile von Salzwässern in auffälligen Brunnen abgeschätzt werden. Für die Bewertung stehen umfangreiche hydrochemische Datensätze der BWB zu Trinkwasserbrunnen und flachen Grundwassermessstellen zur Verfügung, die durch Literaturdaten regionaler Studien ergänzt werden.

P 19.3

Identifizierung hydrogeochemischer Prozesse zur Charakterisierung relevanter Sulfatquellen in einem urbanen Grundwasserleiter am Beispiel Berlin

Babette Gabriel¹, Lutz Thomas¹, Michael Schneider¹

¹ Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften, Arbeitsbereich Hydrogeologie

Kontakt: b.gabriel@fu-berlin.de

Die Berliner Trinkwasserversorgung wird unter anderem durch die Wasserwerke Beelitzhof und Tiefwerder gewährleistet. Das Einzugsgebiet dieser Wasserwerke befindet sich im Gebiet des Grunewaldes im Südwesten Berlins. Während die Sulfatkonzentrationen im Berliner Grundwasser insgesamt einen abnehmenden Trend aufweisen (1995-2009), sind seit 2007 im Bereich des Grunewaldes erhöhte Sulfatgehalte mit lokal ansteigender Tendenz festgestellt worden. In diesem Zusammenhang ist es von besonderer Bedeutung, die Sulfatgehalte im Berliner Grunewald auf standortbedingte Faktoren wie beispielsweise den Einfluss von Trümmerschutt, der Sulfatfracht aus der Lausitz im Oberflächenwasser, Oxidation von Sulfiden und geogener Schwefelspezies sowie dem Einfluss atmosphärischer Deposition von Schwefeldioxid hin zu untersuchen. Um die zukünftige Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit im Einzugsgebiet der Wasserwerke prognostizieren zu können, ist es von besonderer Bedeutung, die Ursache für die ansteigenden Sulfatkonzentrationen zu analysieren.

Hierzu wurden im Untersuchungsgebiet 17 Bohrungen mit durchgehender Entnahme gekernter Proben bis zu 33 m u. GOK durchgeführt. In Batchversuchen wurde das Sediment hinsichtlich des eluierbaren Sulfatgehaltes analysiert und für jeden Standort die Sulfatverteilung über die Tiefe ermittelt. Hierbei können an allen Standorten zwei Konzentrationsplateaus identifiziert werden: zwischen 14 und 17 m u. GOK und im Bereich der Grundwasserschwankungszone. Diese Plateaus gilt es im Hinblick auf mögliche Schwefel-Eintragspfade zu bewerten.

Über die Berechnung der Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers kann das erste Plateau auf die atmosphärische Deposition (SO_2) aus dem Jahr 1989 zurückgeführt werden. Mit dem Einbau der Rauchgasentschwefelungsanlagen in Industriebetrieben (1989) ist in den SO_2 -Depositionen ein Rückgang zu erkennen, der sich in der Sulfatverteilung über die Tiefe widerspiegelt.

Die bisherigen Untersuchungen ergaben, dass im Grundwasserschwankungsbereich eine Akkumulation mineralischer Schwefelverbindungen identifiziert werden konnte, die durch drei unterschiedliche hydrochemische Signaturen zum Ausdruck kommt. Es wird vermutet, dass hierfür die Interaktion mehrerer Prozesse verantwortlich sind, die es genauer zu untersuchen gilt. Hierfür werden Säulenversuche durchgeführt, die dem Prozessverständnis im Bereich der Grundwasserschwankungszone dienen. Die Ermittlung der Isotopensignaturen des Sulfatschwefels im Grundwasser ausgewählter Standorte tragen zur Eingrenzung möglicher Quellen bei. Darüber hinaus dient eine Modellierung des reaktiven Stofftransportes der Quantifizierung des Eintrages in das Grundwasser. Eine Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere urbane Räume wird geprüft.

P 19.4

Vererzungen (Cu, U) im Buntsandstein Helgolands – Vorkommen und Auswirkung auf die Brack- und Trinkwasserqualität

Maïke Meurer¹, Andre Banning¹

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: maïke.meurer@rub.de

Die Nordseeinsel Helgoland liegt ca. 65 km vom deutschen Festland entfernt und ist u.a. durch ihre einzigartige Flora und Fauna ein zunehmend beliebtes Ziel für Touristen und Forscher. Der wachsende Tourismus sorgt für einen sukzessiv steigenden Wasserbedarf.

Helgoland ist größtenteils aus massivem Buntsandstein aufgebaut, welcher sich nicht gut zur Grundwasserspeicherung eignet (Schmidt-Thomé, 1987). Aus diesem Grund wurde bis in die 1960er Jahre das Regenwasser in Sammelzisternen gespeichert und als Trinkwasserquelle genutzt. Im NE der Insel hat sich in einer anthropogenen Aufschüttung durch versickertes Regenwasser eine Brackwasserlinse ausgebildet. Daraus fördern zurzeit vier Brunnen das angereicherte Wasser zum Wasserwerk, wo es seit den 1980er Jahren durch Umkehrosmose zu Trinkwasser aufbereitet wird (Grube, 2002). Das so gewonnene Permeat durchläuft im letzten Schritt einen mit Karbonat gefüllten Aufhärtungsfilter.

Der rote Buntsandstein auf Helgoland weist einige Besonderheiten auf. Er zeigt stellenweise Kupfervererzungen sowie kreisrunde Entfärbungshöfe auf, in deren Mitte teilweise noch dunkle U/V-reiche Kerne enthalten sind (Mempel, 1960). Diese Arbeit soll nun klären, ob es durch die Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen im Buntsandstein zu einer geogenen Beeinflussung der Qualität des Brackwassers kommt, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Spurenelementkonzentrationen von Cu, U und V gelegt wird.

Um diese Fragen zu beantworten wurden sowohl Gesteins- als auch Wasserproben auf Helgoland genommen, die nun mit verschiedenen Methoden analysiert werden. Die Gesteinsproben wurden zur Bestimmung des Mineralgehaltes mit Röntgendiffraktometrie sowie zur geochemischen Charakterisierung mit INAA/ICP-MS untersucht. Ausgesuchte Dünnschliffe werden mit der Mikrosonde und LA-ICP-MS analysiert. Außerdem sind Extraktionsversuche zur Einordnung von Festphasenfraktionierung und Mobilität der betrachteten Spurenelemente geplant. Bei den Wasserproben handelt es sich hauptsächlich um Brackwasserproben aus den Brunnen. Zusätzlich wurden noch die einzelnen Aufbereitungsstufen des Wasserwerks sowie Regen- und Meerwasser beprobt. Die Wasserproben werden mithilfe von IC und AAS auf ihre Hauptkationen und -anionen analysiert sowie die Konzentrationen der Spurenelemente Cu, V und B mittels ICP-OES sowie U mittels ICP-MS bestimmt.

Erste Ergebnisse geben bereits Hinweise hinsichtlich der Spurenelementverteilung in Gesteinen und Wässern. Während die Gesteine beispielsweise Urangelhalte von 0,5 bis 65 $\mu\text{g g}^{-1}$ mit maximalen Werten in den Entfärbungshöfen vorweisen, zeigen die Brackwässer eine maximale Konzentration von 4,9 $\mu\text{g L}^{-1}$ U. Dieser Wert liegt über den Kon-

zentrationen in Regen- und Meerwasser (z.B. Ku et al., 1977) und ist vermutlich durch Lösung aus dem Buntsandstein zu erklären.

Literatur

- Grube, A. (2002): Trinkwasserbroschüre. (Kreis Pinneberg - Fachdienst Umwelt - Öffentlichkeitsarbeit, Hrsg.). Pinneberg.
- Ku, T.-L., Knauss, K.G. & Mathieu, G.G. (1977): Uranium in open ocean: concentration and isotopic composition. *Deep-Sea Research*, Vol. 24, pp. 1005-1017. Britain.
- Mempel, G. (1960): Neue Funde von Uran-Vanadium-Kernen mit Entfärbungshöfen. *Geologische Rundschau*, September 1960, Volume 49, Issue 1, pp 263-276. Hannover.
- Schmidt-Thomé, P. (1987): Helgoland - Seine Dünen-Insel, die umgebenden Klippen und Meeresgründe. (M. P. Gwinner, Hrsg.). Berlin/Stuttgart: Gebrüder Borntraeger (Sammlung Geologischer Führer, Band 82).

P 19.6

Die Schwindequelle – Größte Lockergesteinsquelle in Niedersachsen

Eva González¹, Jörg Elbracht¹, Melanie Witthöft¹

¹ L3.6 Hydrogeologie, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Kontakt: Eva.Gonzalez@lbeg.niedersachsen.de

Die Schwindequelle nahe der Ortschaft Schwindebeck ist ein beliebtes Ausflugsziel und Naturwunder in der Lüneburger Heide (<http://www.naturpark-lueneburger-heide.de>).

Der im Durchmesser etwa 5 m große und bis 50 cm tiefe Quelltopf (RW: 32574407, HW: 5887528) befindet in einem Tal bei etwa 52 m NN auf der linken Seite des Schwindebaches. Das Quellwasser fließt dem Schwindebach zu, die Quelle ist jedoch nicht seine Ursprungsquelle. Der Untergrund ist geprägt durch die quartärzeitlichen Vereisungsphasen. Durch das klare Wasser kann man bis auf den Grund der Quelle sehen und dort die Austrittsstellen des Quellwassers erkennen. Am Rand des Quelltopfes sammeln sich blaugrüne und rote Ablagerungen, durch die sich ein einzigartiges Farbspiel ergibt. Die Schwindequelle ist neben der Ruhmequelle im Harz (Schüttungsmenge im Durchschnitt 2000 l/s; <http://www.ausflugsziele-harz.de>) eine der wasserreichsten Quellen und die größte Lockergesteinsquelle in Niedersachsen.

Trotz der Größe und geotouristischer Bedeutung lagen bisher kaum Untersuchungen zu dieser Quelle vor. Im Rahmen einer Masterarbeit am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) erfolgte im Zuge der hydrogeologischen Landesaufnahme an der Schwindequelle im Zeitraum 2014/2015 eine hydrogeologische Fallstudie. Dazu wurden Abflussmessungen durchgeführt und Proben des Quellwassers und der angrenzenden Oberflächengewässer entnommen und analysiert. Mittels eines 3D-Modells wurde die hydrogeologische Situation dargestellt. Die Untersuchungen erfolgten mit Blick auf die Fragen: Wodurch wird dieser Wasseraustritt ausgelöst? Und wie groß ist die tatsächliche Quellschüttung?

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass es sich bei der Schwindequelle nach Treskatis & Tauchmann (2013) um eine absteigende Quelle vom Typ „morphologische Überlaufquelle“, mit einer ganzjährig konstanten Schüttungsmenge handelt. Im langjährigen Mittel liegt die Schüttungsmenge bei 50 l/s, in besonders nassen Zeiträumen können Spitzenwerte von über 60 l/s erreicht werden. Im direkten Vergleich mit anderen Quellen in Niedersachsen, wie beispielsweise der Kraterquelle Bad Nenndorf, die mit etwa 2 l/s (173.000 Liter pro Tag) schüttet (Der Deister, ohne Jahr), wird die Besonderheit der Schwindequelle deutlich.

Die Temperatur des Quellwassers liegt konstant bei 9,3 °C. Im Gegensatz dazu unterliegen die Durchflussmenge und die Vor-Ort-Parameter des Schwindebaches einer starken jahreszeitlichen Schwankung. Außerdem geht aus den Analysedaten der Wasserproben hervor, dass die Wasserbeschaffenheit des Schwindebaches durch das zuströmende Quellwasser beeinflusst wird.

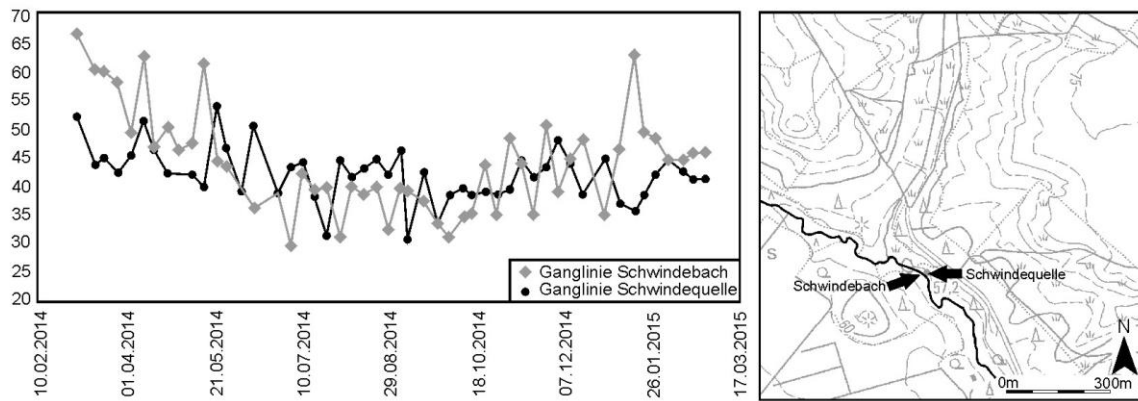


Abb. 1: links: Ganglinien von Schwindequelle (schwarz) und Schwindebach (grau) im Messjahr 2014/2015; rechts: Lage der Messpunkte Schwindequelle und Schwindebach

Literatur

Sinnwell, E., (2016): Die Hydrogeologie der Schwindequelle. – Masterarbeit, Leibniz Universität Hannover (unveröff.)

González, E. & Elbracht, J. (2017): Die Hydrogeologie der Schwindequelle. – GeoBerichte (in Bearbeitung), Hannover

Treskatis, C. & Tauchmann, H. (2013): Quelfassungsanlagen zur Trinkwasserversorgung - 673 S.; DIV (München).

Der Deister: http://www.deister.de/content/stadtportraet_bad_nenndorf.html

<http://www.ausflugsziele-harz.de/ausflugsziele-sehenswertes/natur-nationalpark/rhumequelle-herzberg.htm>

<http://www.naturpark-lueneburger-heide.de>

P 19.7

Hydrogeologie im Einflussbereich einer postglazialen Großmassenbewegung

Reinhard Maxbauer¹

¹ Geologie, Universität Salzburg

Kontakt: Reinhard.maxbauer@stud.sbg.ac.at

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die hydraulischen Verhältnisse einer tiefgreifenden Großmassenbewegung innerhalb der oberostalpinen Grauwackenzone untersucht. Im Fokus stand dabei das Einzugsgebiet der über Brunnen im Talboden betriebene Trinkwasserversorgung der Gemeinde Saalbach Hinterglemm im Salzburger Pinzgau.

Die Arbeiten konzentrierten sich auf den nördlichen Bereich des Schongebietes (Nordhang des Saalachtals) und umfassten eine Fläche von 8,5km² auf Seehöhen zwischen 1000-1819Hm. Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes beruht auf den unterschiedlichen geologischen Gegebenheiten nördlich und südlich des Flusses Saalach. Während die am Südhang anstehenden Sandsteine als eher geringdurchlässig eingestuft wurden und daher hier oberflächlicher Abfluss dominiert, weist der Nordhang durch ausgedehnte Lockergesteinsbedeckung und eine tiefgreifende Massenbewegung gute hydraulische Durchlässigkeiten auf und wird daher als Haupteinflussfaktor für die Grundwasserneubildung im Talgrundwasserkörper betrachtet.

Eine detaillierte geologische und hydrologische Aufnahme des Projektgebietes ergab eine Gruppierung von Quellaustritten entlang dreier Quellhorizonte. Der erste Horizont liegt auf einer Höhe zwischen 1000-1150Hm, der zweite zwischen 1250-1400Hm und der dritte zwischen 1500-1650Hm. Anhand hydrographischer Daten wie Niederschlag, Verdunstung und Oberflächenabfluss wurde eine Wasserbilanz für das betrachtete Einzugsgebiet erstellt.

Im Sommer und Herbst 2017 wurden zwei Probenahmekampagnen an 23 Probennahmestellen durchgeführt.

Anhand der analysierten hydrochemischen Parameter konnte eine Gruppierung der Quellwässer vorgenommen werden, die erste Anhaltspunkte auf unterschiedliche Einzugsgebiete und Fließsysteme liefert. Mittels hydrochemischer Modellrechnungen wurden Sättigungsindizes für Kalzit und CO₂-Partialdruck der Wässer bestimmt, um mit Hilfe dieser Parameter Hinweise auf die relative Höhenlage der Infiltrationsgebiete zu erlangen (Hilberg, 2011).

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen (1) zum besseren Verständnis über die hydraulischen Verhältnisse innerhalb einer tiefgreifenden Großmassenbewegung beitragen und (2) die Anwendbarkeit der Methodik der Bestimmung von Quelleinzugsgebieten mit Hilfe von Kalzit-Sättigung und CO₂-Partialdruck in diesem speziellen geologischen Setting überprüfen.

Literatur

Hilberg, S. (2011): Anwendung hydrochemischer Modellrechnungen zur Bestimmung von Infiltrationsgebieten – Fallbeispiel Reißbeck (Oberkärnten, Österreich). In: Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie 16: 25–36, S. 32. Springer, (2011)

P 19.8

Beschreibung des Freisetzungsverhaltens der für Ersatzbaustoffe typischen Inhaltsstoffe in Abhängigkeit des Wasser-Feststoffverhältnisses

Rebekka Calaoagan¹, Frank Wisotzky², Sabine Bergmann³

¹ Angewandte Geologie/Hydrogeologie, Ruhr-Universität Bochum

² Angewandte Geologie/Hydrogeologie, Ruhr-Universität Bochum

³ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW

Kontakt: Rebekka.Calaoagan-g42@ruhr-uni-bochum.de

Die vorliegende Arbeit „Beschreibung des Freisetzungsverhaltens der für Ersatzbaustoffe typischen Inhaltsstoffe in Abhängigkeit des Wasser-Feststoffverhältnisses“ betreut und vergeben von Frau Dr. Sabine Bergmann und Herrn Professor Dr. Frank Wisotzky, befasst sich mit der Frage, wie sich das Langzeitverhalten der Stofffreisetzung von Ersatzbaustoffen auf den Boden bzw. das Grundwasser auswirkt. Die Motivation dieser Arbeit liegt darin, dass diese Fragestellung sehr wichtig für den Schutz der Umwelt und vor allem für den Menschen und das Grundwasser ist. Die Verwendung von Ersatzbaustoffen stellt eine große Entlastung der natürlichen Ressourcen dar, aber die Verwendung und der Einbau muss genau kontrolliert werden. Dabei stellt sich vor allem die Frage, welches Freisetzungverhalten und welche Konzentrationen der einzelnen Elemente und Verbindungen im Sickerwasser bei einem mehrjährigen Langzeitversuch unter realen Bedingungen festzustellen sind, und ob die sich dadurch Prognosen treffen lassen, inwieweit der Schutz des Grundwassers gewährleistet bleibt. Für die Untersuchung wurde eine vom LANUV betriebene Lysimeteranlage genutzt. In diese sind unterschiedliche Ersatzbaustoffe eingebaut, um eine möglichst große Variationsbreite zu erlangen. Dafür wurden verschiedene Materialien, wie z.B. Hochofenschlacke und Recycling-Baustoff im Jahr 2003 eingebaut (Susset & Leuchs, 2008). Es zeigten sich in den Untersuchungen verschiedene Verhaltensweisen der unterschiedlichen Stoffe. Diejenigen Varianten, bei denen aufgrund der bis 2006 erzielten Ergebnisse eine Fortführung notwendig und interessant erschien, wurden in dem gesamten Zeitraum von 2003 bis 2017 kontinuierlich weiter beobachtet. Die Analyseergebnisse wurden vom LANUV NRW zu Verfügung gestellt und für diese Arbeit genutzt. Zu den bereits vorhandenen Daten (2003 bis 2014) des LANUV wurden die Ergebnisse von 2015 bis 2017 hinzugefügt und ausgewertet. Generell zeigten Salze und PAKs bei den untersuchten Ausgangsmaterialien im Allgemeinen ein relativ gutes Abklingverhalten, nur vereinzelt zeigte sich dieses Verhalten erst verzögert (PAK). Bei einigen Schwermetallen zeigte sich anderes Bild. Insbesondere ließen die Ergebnisse bei fast allen im Langzeitversuch beobachteten Varianten (RCL, Altlastenboden, HMVA) erkennen, dass sich vor allem bei Chrom, Vanadium und Arsen, zum Zeitpunkt der letzten durchgeführten Analyse am 05.08.2017, noch immer kein oder kein eindeutiges Abklingverhalten eingestellt hat. Chrom zeigt – nach einem zeitverzögerten Peak - eine bis jetzt anhaltende Freisetzung auf z.T. gleichbleibend hohem bzw. erhöhtem Niveau. Bei Arsen und Vanadium hat der Freisetzungsprozess erst nach vielen Jahren ($\sim W/F = 3 \text{ L/Kg}$) – relativ parallel verlaufend - eingesetzt und ist derzeit nicht abgeschlossen. Die weitere Untersuchung zum Langzeitverhalten der Ersatzbaustoffe ist hinsichtlich dieser Metalle somit notwendig, um eine potentielle Gefährdung des Grundwassers ausschließen zu können.

Literatur

Susset, B. & Leuchs, W. (2008): Ableitung von Materialwerten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe Abschlussbericht Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden.

Susset, B. & Leuchs, W. (2008): Schlussbericht - Stofffreisetzung aus mineralischen Ersatzbaustoffen und Böden - "Ermittlung der Quellstärke-Entwicklung und des Rückhalte- und / oder Abbaupotentials mittels Freilandlysimetern und Laborelutionen". Stofffreisetzung aus mineralischen Ersatzbaustoffen und Böden - "Ermittlung der Quellstärke-Entwicklung und des Rückhalte- und / oder Abbaupotentials mittels Freilandlysimetern und Laborelutionen". Düsseldorf, Nordrhein-Westfalen.

P 19.9

Can fresh submarine groundwater discharge initiate pathogenicity in *Vibrio* sp. settled in marine sediments?

Felix Vollberg¹, Marc Walther², Nils Moosdorf³

¹ Universität Bremen, Bremen

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig; Technische Universität Dresden, Dresden

³ Leibniz Zentrum für Marine Tropenforschung – ZMT, Bremen

Kontakt: felix.vollberg@gmx.net

Fresh submarine groundwater discharge (SGD), i.e. the direct discharge of terrestrial groundwater to the ocean, contributes significantly to hydrological and matter cycling in coastal areas and thus directly affects biogeochemical processes. Following the hydraulic potential, groundwater discharges out of a coastal aquifer, which influences nutrient budgets and salinities within a coastal area, both on terrestrial and marine compartments. While total SGD according to its definition encompasses a recirculated seawater component in addition to the fresh groundwater discharge, here, only the fresh component is addressed.

Brackish benthic zones of SGD have a direct effect on the living conditions of individual organisms dwelling in coastal waters and shallow marine sediments (mud) respectively. That includes pathogenic *Vibrio* bacteria whose growth is strongly dependent on water temperature, nutrient supply and salinity. The quantity of non-halophile *Vibrios* should grow if the influence of fresh groundwater increases. To what extent SGD is able to sustain favorable living conditions for *Vibrio* is an open question, which will be assessed in a first approach in this study.

A suite of 2D FeFlow models will represent multiple scenarios through a relevant geological and hydrological parameter space. Starting with a simple stationary homogeneous landmass we put a focus on density driven water movements in coastal areas. Increasing complexity of this setup by implementing heterogeneity and varying geometrical shapes (e.g. coastal slope) allows to approach natural conditions, thus creating a suitable base for further case-related investigations. We expect the permeability and heterogeneous distribution of flow paths to be the main controlling factors of the SGD and formation of low salinity zones in the benthic sediment. Besides building a flexible analytic model setup, the main goal of this work is a sensitivity analysis for the relevant parameters to specify the possible impact of SGD on *Vibrio* bacterial growth.

P 19.10

Modelling the transport of antibiotics, antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistant genes in the subsurface- Reuse of treated waste water applications

Aparna Chandrasekar¹, Rudolf Liedl¹, David Kneis²

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden

² Institut für Hydrobiologie, Technische Universität Dresden

Kontakt: aparna.chandrasekar@tu-dresden.de

Reuse of Treated Wastewater (TWW) for irrigation, and aquifer recharge is an approach to overcome increasing water scarcity in many regions of the world. However, TWW reuse can be associated with an underlying risk in spreading contaminants like antibiotics- that are not readily removed by waste water treatment plants. The focus of

this study, is to model the transport of sub-inhibitory concentrations of antibiotics, antibiotic resistant bacteria (ARB) and antibiotic resistant genes (ARG), in surface/ground water. A process-based modelling approach is used to understand the most important processes affecting bacterial abundances and antibiotic concentrations during soil passage.

The model can be broadly divided to include hydrodynamic and biological processes that possibly undergo when the bacteria moves through the subsurface. The model is implemented in R/Fortran using the 'rodeo' package ^[1]. The governing 1-dimensional Partial Differential Equations (PDE) are solved by the Method-of-Lines approach.

Due to the high number of parameters present in the model, the model is non-dimensionalized, thus enabling, a small reduction in the number of parameters. Further information about the parameters is obtained by conducting column experiments which are then fitted in the model by employing optimization algorithms from FME ^[2]. Knowledge of the parameters and the dimensionless numbers give insights into the relative importance of the process in the model. Based on this information the model is further simplified to include only the important (rate limiting) processes that occur during bacterial and antibiotic transport in the subsurface.

Furthermore, a global sensitivity analysis is conducted on the model to understand the effect of changing parameter values on the variables. This study enables us to understand the effect of changing parameter values on the concentrations of the various species.

Further scope of the study is aimed at conducting the parameter estimation studies and sensitivity analysis to develop models that can simulate the natural conditions under which bacteria are transported in the subsurface. Validation of the model, and estimation of the relevant parameters will be done at each stage of the model construction. This will enable quantitative and qualitative risk assessment of reusing treated waste water to surface and groundwater systems.

References

- [1] Kneis, D., Petzoldt, T. & Berendonk, T. (2017): An R-package to boost fitness and life expectancy of environmental models. *Environmental Modelling & Software*, 96, 123-127. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.036>.
- [2] Soetaert, K. & Petzoldt, T. (2010): Inverse Modelling, Sensitivity and Monte Carlo Analysis in R Using Package FME. *Journal of Statistical Software*, 33(3), 1 – 28. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v033.i03>.

P 19.11

Drei Multi-Tracerversuche im Massenkalk von Hemer – Was wissen wir über dieses hochdynamische Karstsystem?

Tobias Vaitl¹, Stefan Wohnlich¹

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum
 Kontakt: tobias.vaitl@rub.de

Tracerversuche haben sich in der Hydrogeologie bewährt, um wichtige hydraulische und hydrochemische Parameter des Untergrundes abzuleiten. Insbesondere in Karstgebieten, welche ein Viertel der weltweiten Wasserversorgung ausmachen, ist die Kenntnis über die Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten von großem Interesse, da Schadstoffe innerhalb weniger Stunden von Eintragsquelle bis Brunnenfassung gelangen können. Um ein exaktes Systemverständnis zu erlangen, bieten sich insbesondere Tracerversuche an, um die entsprechenden Eigenschaften dieses äußerst vulnerablen Aquifertyps zu bestimmen (Laimer 2005). Aus diesem Grund wurden drei Tracerversuche über einem Zeitraum von drei Jahren im komplexen Karstsystem eines mitteldevonischen Massenkalkes bei Hemer durchgeführt. Innerhalb dieser drei Jahre wurden insgesamt vier Eingabestellen (Ponore/Grundwassermessstellen) und neun mögliche Austragsstellen (Quellen/Hönnne) genauer untersucht. Während aller Tracerversuche wurden zusätzlich Abflussmessungen durchgeführt und Wasserproben entnommen, um mit Hilfe des Oberflächenabflusses und der Hydrochemie Rückschlüsse auf das Gesamtsystem zu ziehen.

In einem ersten Tracerversuch im Jahr 2012 wurden Uranin (1500 g) und Amidorhodamin G (2000 g) in den Untergrund eingebracht. Nach einem Versuchszeitraum von einer Woche konnte kein Tracerdurchgang in den beobachteten Quellen festgestellt werden. Die Analysen der Ionenkonzentrationen legten nahe, dass ein unterirdischer Fließweg zwischen einer Bachschwinde nahe dem Bahnhof Binolen und der Feldhofquelle bestand. Diese Vermutung wurde im

Jahre 2013 bestätigt. So wurden in eine Bachschwinde insgesamt 1200 g des Fluoreszenztracers Tinopal CBS-X eingegeben. Wenige Minuten nach der Eingabe wurde der Markierungsstoff sowohl in der Feldhofquelle als auch in der Klusensteiner Quelle nachgewiesen. Zusätzlich wurden in diesem Versuch Uranin (1000 g) und Amidorhodamin G (1500 g) in zwei Schlucklöcher auf der Karsthochfläche bei Brockhausen injiziert. Uranin konnte hierbei in der Feldhofquelle und Freiligrathquelle nachgewiesen werden. Im Jahre 2014 wurden die Eingabestellen modifiziert, um den Einfluss des angrenzenden aktiven Kalksteinbruches zu untersuchen. Aus diesem Grund wurde in diesem Versuch der Tracer Amidorhodamin G in die gegenüberliegende Karsthochfläche, bei Eisborn, in eine Grundwassermessstelle eingegeben. Der Tracer konnte, wie im Jahr 2013, in keiner Beobachtungsstelle nachgewiesen werden.

Die durchgeführten Abflussmessungen haben wie auch die drei Markierungsversuche gezeigt, dass es sich bei dem untersuchten Massenkalk bei Hemer um ein sehr komplexes Karstsystem mit hohen Fließgeschwindigkeiten handelt, welches somit einen höchst vulnerablen Aquifer darstellt. Die Bilanzierung der Abflüsse deutet darauf hin, dass ein großer Teil der Hönne in Bachschwinden versickert und unterirdischen Fließwegen folgt, was durch die drei umfangreichen Tracerversuche bestätigt werden konnte. Zudem zeigte sich, dass es auf der Höhe des Kalksteinbruches zu einer Erhöhung um den Faktor 6 im Abfluss der Hönne kam.

Literatur

Laimer, H. J. (2005): Die Erfassung der Karstgrundwasser-Vulnerabilität mit der Methode „VURAAS“. *Grundwasser* 10(3), 167-176.

P 19.12

Untersuchung der Bildung von Scales mittels eines Hochdruck-Hochtemperatur-Säulenexperiments

Christoph Knuth¹, Stefan Wohnlich¹, Stefan Pollak²

¹ *Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum*

² *Feststoffverfahrenstechnik, Ruhr-Universität Bochum*

Kontakt: christoph.knuth@rub.de

Während des Betriebs von tiefen Geothermieranlagen führen Ausfällungen, sogenannte Scales, zu einer Reduzierung des Strömungsquerschnitts und gefährden somit den störungsfreien Betrieb der gesamten Geothermieranlage. Scales können sowohl innerhalb des geothermalen Reservoirs als auch innerhalb der technischen Anlagenteile, z.B. dem Wärmetauscher oder den Tiefbohrungen, entstehen. Abhängig ist die Bildung von Scales von der hydrogeochemischen Zusammensetzung des Fluids sowie von der Änderung der Druck- und Temperaturverhältnisse während des Prozesses.

Mit dem Ziel, die potentielle Bildung von Scales im Vorfeld der Errichtung einer tiefen Geothermieranlage prognostizieren zu können, wurde ein Hochdruck-Hochtemperatur-Säulenexperiment entwickelt und aufgebaut. Dieses ist dem Prozess der geothermalen Energiegewinnung nachempfunden und ermöglicht die Einstellung von Druck- und Temperaturverhältnissen, wie sie in existierenden tiefen Geothermieranlagen vorkommen. Die Ergebnisse der Versuche tragen dazu bei, dass bessere Maßnahmen zur Reduzierung von Scales getroffen werden können und somit das Risiko eines unwirtschaftlichen Betriebs verringert wird. Darüber hinaus werden die Versuchsergebnisse als Basis für hydrogeochemische Modellierungen genutzt.

Untersucht wurden Gesteinsproben aus dem Ausstrichbereich der Kaisberg-Formation. In einem ersten Schritt zirkulierte ein Fluid mit einem geringen Druck von 3 bar durch die Gesteinsprobe. Nach Erreichen eines hydrochemischen Gleichgewichts erfolgte dann eine Erhöhung des Drucks auf 150 bar. Die Temperatur blieb während der gesamten Versuchsdauer konstant bei 50 °C. Mit einer speziell für hohe Drücke entwickelten Sonde (max. Druckbeständigkeit: 600 bar) erfolgte die kontinuierliche in-situ Messung der elektrischen Leitfähigkeit. Zusätzlich wurden während der laufenden Experimente Fluidproben entnommen und laboranalytisch untersucht. Nach der Beendigung eines Versuches fand die Untersuchung von Ausfällungen auf zuvor eingebauten Metalltargets mit einem Rasterelektronenmikroskop statt.

Die Auswertung der Messergebnisse zeigt, dass die Erhöhung des Drucks (um ca. 150 bar) zu einem Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit bzw. zu einem Anstieg von ablaufenden Wassers-Gesteins-Wechselwirkungen führt. Auf

den Metalltargets sind deutlich sichtbare Ausfällungen vorhanden. Spektralanalysen zeigen, dass es sich dabei um Calciumcarbonate handelt.

P 19.13

Reaktive Reservoirsysteme – Kristallkeimbildung und Filterprozesse in geothermischen Systemen

Sascha Frank¹, Stefan Wohnlich¹, Jürgen Schreuer²

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

² Arbeitsgruppe Kristallphysik, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: sascha.frank@rub.de

Im Zuge der Reinjektion von Fluiden bei der tiefen geothermischen Energiegewinnung unter veränderten Temperatur- und Druckbedingungen kann es zur Übersättigung und damit zur Fällung von Mineralphasen kommen (Gunnlaugsson 1989, Demir et al. 2014), wodurch die Wegsamkeiten im Reservoir allmählich verschlossen werden. Dieser Effekt wird als Reservoirscaling bezeichnet und limitiert nachhaltig die Nutzung geothermischer Ressourcen.

Bisher ist noch unklar, welchen Einfluss Kristallkeime auf das Scaling haben, die sich, während der Energiegewinnung, oberflächennah durch sich ändernde Druck- und Temperaturbedingungen bilden. Aufgrund der hohen Salinitäten geothermischer Wässer und der damit einhergehenden Sättigungszustände, sind zunächst im Zuge der Förderung kristalline Ablagerungen an Rohrrinnenwänden zu erwarten. Diese können jedoch durch turbulenzbedingte Inhomogenitäten bzw. mechanische Störungen zur spontanen Bildung freischwimmender Keimkristalle führen, von denen ein signifikanter Teil von der Strömung mitgerissen und in das Reservoir reinjiziert wird. Die Kristallkeime können sich dann durch Filtereffekte kumulieren oder als Kristallisationszentren für Zementationsprozesse fungieren und damit erheblich zum Reservoirscaling beitragen.

Um zu klären, welche hydromechanischen Auswirkungen ein kristallkeimbelastetes Wasser bei der Reinjektion in das Reservoirsystem hat und wie sich Ausfällungsprozesse bei hochsalinaren Tiefenwässern durch Druck- und Temperaturänderungen auf die Keimbildung auswirken, wird eine Hochdruck-Temperatur-Säule verwendet, die dem prinzipiellen Aufbau einer Geothermianlage nachempfunden ist (Knuth et al. 2016). Diese ermöglicht die Einstellung von Druck- und Temperaturverteilungen, wie sie innerhalb tiefer geothermischer Reservoirs vorliegen. Zwei separat anliegende Heizspiralen erlauben dabei Einstellungen unterschiedlicher Temperaturen im Vorratsbehälter der Anlage sowie im Druckbehälter, in dem die Probe eingesetzt wird. Über ein Hilfsgas (z.B. Helium) und die Heizthermostate sind Drücke von bis zu 300 bar und Temperaturen von 100°C möglich. Eine Vakuumpumpe führt das Wasser im Kreislauf.

Nachgebildet und prognostiziert werden Scalingprozesse häufig mittels hydrogeochemischer Modellierungsprogramme, die vor allem auf der Temperatur- und Druckabhängigkeit von Lösungs- und Reaktionsgleichgewichten basieren (Bozau & van Berk 2013, Bozau et al. 2015). Weder in den Modellierungs- noch in den experimentellen Ansätzen wurde jedoch bislang berücksichtigt, dass der Ort der Kristallkeimbildung möglicherweise nicht mit demjenigen übereinstimmt, an dem später die Zementationsprozesse stattfinden.

Ziel dieser Untersuchungen sind u.a. die Beantwortung der Fragen, wie Bildung und Wachstum von Kristallkeimen in gesättigten geothermischen Lösungen bei thermischer Entspannung verlaufen und wie sich Filterprozesse im Reservoir minimieren bzw. ob sich Gegenmaßnahmen zur Bildung ableiten lassen.

Literatur

- Bozau, E. & Van Berk, W. (2013): Hydrogeochemical modeling of deep formation water applied to geothermal energy production. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7.
- Bozau, E., Häußler, S. & Van Berk, W. (2015): Hydrogeochemical modelling of corrosion effects and barite scaling in deep geothermal wells of the North German Basin using PHRREEQC and PHAST. *Geothermics*, 53.
- Demir, M.M., Baba, A., Atilla, V., & Inali, M. (2014): Types of scaling in hyper saline geothermal system in northwest Turkey. *Geothermics*, 50.
- Gunnlaugsson, E. (1989): Magnesium-silicate scaling in mixture of geothermal water and de-aerated fresh water in a district heating system. *Geothermics*, 18.

Knuth, C., Wisotzky, F., & Wohnlich, S. (2016): Hydrogeochemie geothermischer Reservoirs und deren Einfluss auf die technische Nutzbarkeit. – In: Banning, A., Wisotzky, F., Wohnlich, S. (Hrsg.): Bochumer Grundwassertag 2016 – Grundwasser und Energie; Bochumer Geowissenschaftliche Arbeiten 23: 46-57.

Autorenliste

A

Abdourahamane Djibo, Hamissou: P 11.4
 Abesser, Corinna: O 19.12
 Abou, Abdoulahi: P 11.4
 Acame, Carlos: O 9.14
 Aceves de Alba, Jorge: O 11.4
 Adrian, Flores-Orozco: P 9.8
 Aguillón-Robles, Alfredo: O 11.4
 Allendorf, Arnd: O 16.1
 Al Najem, Sami: O 3.2, P 1.3
 Altenbockum, Michael: O 5.1, O 5.3
 Altfelder, Sven: P 18.4
 Altmannsberger, Charlotte: P 19.1
 Anibas, Christian: P 9.17

B

Baacke, Delf: O 2.4
 Balmert, David: O 10.9
 Balsaa, Peter: O 16.6
 Banning, Andre: O 11.4, O 19.5, O 19.10, O 19.14,
 P 2.3, P 19.4
 Barquero, Felix: P 17.1
 Bartak, Rico: O 16.10
 Barth, Johannes: P 9.23, O 9.6
 Barthel, Eike: O 18.7
 Bauer, Lukas: O 4.8
 Bauer, Sebastian: O 7.3, O 7.4, O 7.5
 Baumann, Thomas: O 3.3
 Bäumle, Roland: O 10.6, O 11.2
 Bayer, Peter: O 7.1, O 15.4, P 4.6
 Bechtold, Dieter: P 1.6
 Becker, Bernhard: O 6.3, O 9.17
 Becker, Martin: O 14.5
 Beienz, Johannes: O 12.8
 Beier, Meike: O 16.1
 Beisecker, Richard: O 13.1, P 15.1
 Belafi, Vanessa: O 3.2
 Bender, Steffen: O 16.3
 Benso, Marcos: O 9.3
 Benz, Susanne A.: O 7.1
 Berens, Katharina: O 5.1
 Berger, Erich: O 10.9
 Bergmann, Axel: P 13.3
 Bergmann, Sabine: O 13.4, P 13.6, P 19.8
 Berlipp, Heiner: O 2.5
 Berthold, Georg: P 13.7
 Beyer, Christof: O 7.3, O 7.5
 Bilek, Felix: P 12.4

Binder, Martin: O 12.4, O 12.7, P 17.4
 Birk, Steffen: O 9.12, P 5.3
 Bitzer, Frank: O 18.2
 Blankenburg, René: P 9.14
 Bleicher, Alena: P 7.3
 Blöcher, Guido: P 3.6
 Blum, Philipp: O 7.1, P 4.1, P 4.6, P 8.2
 Blumenberg, Martin: O 18.9
 Boester, Uwe: O 5.3, P 5.1
 Bohnsack, Daniel: P 3.2
 Boockmeyer, Anke: O 7.3, O 7.4, P 6.1, P 6.2
 Börke, Peter: O 15.3
 Borrmann, Sophie: O 18.7
 Bosch, Kolja: P 11.4
 Böttcher, Ernst O.: P 9.1
 Böttcher, Fabian: P 4.2
 Böttcher, G.: P 16.2
 Böttcher, Michael E.: P 9.1, P 9.2, P 9.22, P 16.2
 Böttcher, Tillman M.C.: P 9.1
 Brauch, Heinz-Jürgen: O 16.7
 Braun, Burga: O 4.7
 Braun, Jürgen: O 5.4
 Brehme, Maren: P 3.6
 Bretthauer, Maxi: P 15.3
 Brinkmann, Katja: O 11.3
 Broda, Stefan: O 11.1, O 14.6, P 11.3, P 15.3
 Brömme, Katrin: O 10.1, O 10.3
 Brose, Dietmar: O 18.5
 Brünjes, Robert: P 9.3
 Bucher, Kurt: P 9.20
 Budziak, Dörte: P 18.2
 Bulut, Fatih: P 3.6
 Buness, Hermann: O 3.5
 Burckgard, Diana: O 9.15
 Burghardt, Diana: O 9.13, O 12.4, O 12.7, O 19.2
 Burke, Victoria: O 19.6, P 9.4
 Bürkert, Andreas: O 11.3
 Buske, Erik: O 19.9
 Bussmann, Gregor: O 3.4
 Butscher, Christoph: P 8.2
 Butzer, Diana: O 9.6

C

Calaoagan, Rebekka: P 19.8
 Cardona, Antonio: O 11.4, O 11.5
 Carrillo-Rivera, José Joel: O 11.4
 Chandrasekar, Aparna: P 19.10
 Cirpka, Olaf: O 12.6, P 8.3

Cirpka, Olaf A.: O 19.11
Claus, Thomas: O 12.9
Clos, Patrick: P 15.3
Conrad, Christopher: P 8.5
Cosma, Claudia: P 1.4
Costabel, Stephan: O 16.9

D

Dahmke, Andreas: O 4.3, O 4.4, O 7.3, O 19.12
Daiker, Christina: P 1.1, P 1.7
Daïra, Djoret: P 11.2
Dannowski, Ralf: O 9.11
De Gaspari, Francesca: O 12.2
Delfs, Jens Olaf: O 7.3
Dellwig, Olaf: P 9.2
Demmel, Thomas: P 5.1
Denneborg, Michael: O 2.7
Deus, Nico: P 15.2
de Vries, Dieter: P 18.2
Diehl, Leon: P 9.4
Dietrich, Peter: O 12.4, O 12.7, P 7.2
Dinkel, Eva: O 4.7
Dirks, Heiko: O 17.3, P 3.1
Doan, Van Canh: O 10.7
Doro, Kennedy O.: P 12.1
Drechsler, Hartwig: O 13.2, P 15.1
Drewes, J.E.: P 17.3
Drewes, Jörg E.: O 17.1
Droste, Björn: P 16.4
Dufour, Robin Marc: O 14.7
Duong, Dinh Quang: O 10.5
Durejka, Stefan: P 9.6
Dussel, Michael: O 3.1
Dworak, Linda: O 6.1, O 11.3

E

Eckart, Michael: O 2.9
Eckert, Dominik: P 9.5
Einsiedl, Florian: O 5.5, P 3.3, P 13.5
Eisele, Michael: O 13.4
Elbracht, Jörg: O 15.2, O 18.9, P 15.2, P 18.2, P 19.6
Engelhardt, Irina: O 13.7, P 8.5, P 16.4
Engelmann, Christian: O 17.2, P 9.14
Englert, Andreas: O 11.3
Enzinger, Tatjana: P 1.6
Enzmann, Frieder: O 12.3, P 4.7
Epting, Jannis: O 7.2
Erangu Purath Mohankumar, Sajeev: P 13.1
Escher, Peter: P 9.2

F

Fach, Stefan: O 6.6
Fichtner, Thomas: O 17.2, P 17.1, P 17.2
Finkel, Michael: P 8.3
Firmani, Giovanni: O 14.7
Fisch, Stefan: O 14.4
Fleckenstein, Jan H.: O 9.5
Fleuchaus, Paul: P 4.1
Frank, Sascha: P 19.13
Frei, Sven: O 9.5, P 9.6
Frenzel, Marcus: P 2.1
Freundt, Maria: O 12.8
Frommen, Theresa: O 19.15
Fuchs, Sven: P 14.1
Fuchsluger, Martin: O 4.9

G

Gabriel, Babette: P 19.3
Galisson, Alexandra: O 13.5
Ganal, Caroline: P 9.16
Garcia Rios, Maria: O 12.2
Gauert, Christoph: P 1.8
Geletneky, Jörn: O 18.4
Gerfried, Winkler: O 15.4
Giannelli, Giulia: O 4.5
Giber, Alexandra: P 13.2
Giese, Markus: O 16.5
Gilfedder, Benjamin: O 9.5, P 9.6
Glanzer, Marianne: O 6.6
Glass, Jana: P 17.2
Glasser, Clarissa: P 9.6
Gleeson, Tom: O 9.8
Göbel, Patricia: P 14.2
Godschalk, Bas: P 4.1
Gohlke, Dennis: P 9.13
Gökpınar, Thorsten: P 2.4
Goldscheider, Nico: P 14.3
González, Eva: P 15.2, P 19.6
Goorden, Neeltje: O 6.3
Göppert, Nadine: P 14.3
Gossel, Wolfgang: P 1.8, P 14.2
Gossler, Manuel: P 4.3
Götzl, Gregor: O 4.9
Gouze, Philippe: O 12.2
Gräber, Peter-Wolfgang: O 14.4, O 17.2, P 9.14
Greassidis, Sandra: O 10.3
Greskowiak, Janek: O 9.7, O 9.10, P 9.9, P 9.19
Greskowiak, Janek: O 17.1
Greven, Katharina: O 13.5
Griebler, Christian: P 16.4

Grimm, Christian: P 9.16
 Grimmeisen, Felix: O 16.5
 Grischek, Thomas: O 9.1, O 9.3, O 10.8, O 16.10,
 P 16.1, P 16.7
 Groeschke, Maike: O 19.15
 Gröger-Trampe, Jens: P 13.4
 Großkopf, Inga: P 9.19
 Grünenbaum, Nele: O 9.10
 Grützmacher, Gesche: O 16.2, P 19.1
 Guadagnini, Alberto: P 16.4
 Günther, Andreas: P 15.3
 Guo, Jinxing: O 14.4

H

Haas, Johannes Christoph: O 9.12, P 13.1
 Haase, Jonas: P 14.2
 Hahn, Florian: O 3.4
 Hahn, Hans Jürgen: O 9.13, O 9.15
 Hahne, Kai: P 11.6
 Hähnel, Patrick: P 9.19
 Hajati, Mithra: P 9.12
 Hamer, Kay: O 12.8, P 18.2
 Hanauer, Bernd: O 14.2
 Händel, Falk: O 12.4, O 12.7, O 17.2, P 9.14, P 17.4
 Handro, Karsten: O 5.2
 Hannappel, Stephan: O 18.7
 Hansen, Carsten: O 13.3
 Happel, Oliver: O 16.7
 Hartmann, Andreas: P 8.4
 Hartmann, Jan Frederik: P 9.7
 Haselbeck, Valentin: O 19.3
 Heckmann, Matthias: O 11.1, P 11.3, P 11.6
 Hehn, Vera: O 3.6
 Hein, Jörg-Helge: O 16.8
 Heine, Florian: P 3.3
 Heiser, Fiona: O 19.2
 Heitfeld, Michael: O 2.5
 Hellauer, K.: P 17.3
 Hengsberger, Kristina: O 19.8
 Herfort, Martin: P 18.1
 Herndl, Markus: P 5.3
 Herrmann, Frank: O 15.2
 Hertel, Petra: P 1.2, P 9.21
 Heumann, Sabine: P 13.4
 Hiester, Uwe: O 4.1, P 4.5
 Hilberg, Sylke: P 1.6
 Hillebrand, Olav: O 16.4
 Himmelsbach, Thomas: O 11.2, P 18.4
 Hinnenkamp, Vanessa: O 16.6
 Hinzer, Ilka: P 1.5
 Hoang, Hoan: P 10.2

Hoang, Thi Hanh: O 10.6
 Hofmann, Thilo: P 9.3
 Höhn, Philipp: P 9.3, P 9.8
 Holt, Tobias: P 9.9
 Hörbrand, Thorsten: O 3.3
 Houben, Georg: O 11.2, O 16.9, P 11.1
 Hsu, Feng: P 9.22
 Huber, Florian: O 12.3
 Hübner, U.: P 17.3
 Hübner, Uwe: O 17.1
 Hübsch, Lena: O 15.2
 Huggenberger, Peter: O 7.2
 Hüsener, Dirk: P 6.2
 Huss, Adalbert: P 12.2, P 12.3

I, J

Ibenthal, Miriam: O 19.13
 Illing, Christian: O 18.9
 Isenbeck-Schröter, Margot: O 3.2, O 4.8, P 1.3, P 9.7
 Istvan, Siklosi: P 3.6
 Jacques, Diederik: O 13.7
 Jagert, Felix: P 2.2
 Janssen, Manon: O 19.13
 Jebreen, Hassan: O 19.14
 Jendryszczyk, Natalie: P 9.20
 Jenk, Ulf: P 2.1
 Jenn, Florian: O 10.6
 Jenner, Anna-Kathrina: P 16.2
 Jensen, Sven: O 12.8, O 15.1, O 18.1, P 14.4
 Jolk, Christian: O 10.2
 Juergen, Braun: O 4.5
 Junge, Robert: O 15.3
 Junghanns, Ralf: P 17.2
 Jungk, Volker: O 4.1, P 4.5

K

Kaletka, Thomas: O 9.11
 Kalwa, Fritz: P 17.4
 Kandemiroglu, Osman Can: P 16.3
 Karakurt, Sema: O 17.1, P 17.3
 Kastner, Sebastian: O 9.6
 Kaufhold, Stefan: P 11.1
 Keilholz, Patrick: O 6.2, O 14.7
 Keppler, Frank: P 9.7
 Kerl, Florian: O 15.3
 Kersten, Michael: P 4.7
 Khan, Waseem: O 4.8
 Kimothi, Prakash: O 10.8
 Kinias, Constantin: O 7.5
 Kistingner, Stephan: P 3.5
 Klaas, Norbert: O 5.4

Klinger, Christoph: O 2.9
Klingler, Stefan: O 19.7
Klotzsch, Stephan: O 17.2
Kludt, Christoph: O 13.7, P 13.7
Knabe, Dustin: O 13.7, P 16.4
Kneis, David: P 19.10
Knöchel, Christian: P 1.3
Knöll, Paul: P 16.5
Knöller, Kay: O 13.7
Knuth, Christoph: P 19.11
Kobbe, Susanne: O 11.3
Köber, Ralf: O 4.3, O 4.4
Koch, Christian: P 12.4
Kohl, Steve: O 19.2
König, Bernd: O 18.3
König, Christoph: O 18.4
Königer, Paul: P 9.19
Konrad, Florian: P 3.4
Kordilla, Jannes: O 19.3, P 8.7
Krause, Florian: O 19.3
Krause, Stefan: O 19.12
Kreck, Manuel: P 7.1, P 7.2
Krienen, Lisa: O 11.5
Kübeck, Christine: P 13.2
Kubier, Andreas: P 18.2
Kühn, Michael: P 4.4
Kuke, Claudia: O 17.2
Künemund, Luisa: P 8.2
Kupfersberger, Hans: O 4.6

L

Lang, Ulrich: O 14.3, P 9.5
Larsen, Flemming: P 10.2
Le, Hoai Nam: O 10.6
Leary, Peter: P 3.6
Lennartz, Bernd: O 19.13
Leschik, Sebastian: O 5.2
Leßmann, Bernd: O 18.8, P 13.7
Levacher, Dorothee: P 6.2, P 16.6
Leven, Carsten: O 19.11
Lewandowski, Jörg: O 9.4
Li, Xiaoyan: P 9.20
Licha, Tobias: O 12.5, O 16.4, O 16.5
Liedl, Rudolf: O 9.13, O 12.4, O 12.7, O 14.4, O 17.2, P 9.14, P 19.10
Liesch, Tanja: O 14.6, P 14.3
Lipka, Marko: P 9.1, P 9.2
Lischeid, Gunnar: O 9.11, O 9.14
Löchte, Joachim: O 2.9
Lohe, Christoph: P 11.1
Lohr, Sebastian: P 9.23

Lorenzen, Gunnar: O 16.2
Loschko, Matthias: O 12.6
Lüders, Klas: O 4.4
Luding, Rolf: O 5.2
Ludwig, Florian: O 4.1, P 4.5
Ludwig, Rüdiger: P 10.2
Luijendijk, Elco: O 9.8
Luthe, Verena: P 1.2
Luythen-Naujoks, Karin: P 15.1

M

Mahdavi Mazdeh, Ali: P 9.10, P 9.11
Maier, Martin: P 1.3
Maier, Ruth: O 19.11
Maier, Ulrich: O 12.1
Martac, Eugen: P 12.1
Martin, Simon: O 19.7
Märtner, Bernd: O 17.2
Massmann, Gudrun: O 9.7, O 9.10, O 17.1, O 19.13, P 9.4, P 9.9, P 9.19
Mathews, Thomas: O 2.5
Maxbauer, Reinhard: P 19.7
Mazo D'Afonseca, Fernando: P 8.3
Mazur, Kai: P 12.4
Mebrahtu, Tesfay: P 11.5
Meeder, Alexander: O 4.7
Mehrtens, Anne: O 19.6
Meid, Michael: P 9.21
Meier zu Beerentrup, Kerstin: O 19.12
Meinikmann, Karin: O 9.4
Menberg, Kathrin: P 4.6
Meneses Rioseco, Ernesto: O 3.5
Merz, Christoph: O 9.9, O 9.11, O 9.14
Meßer, Johannes: O 6.5
Metschies, Thomas: O 14.5
Metzler, Erhard: O 4.8
Meurer, Maike: P 19.4
Meyer, Bettina: O 13.5
Meyer, Markus: O 6.4
Michael, Ziesche: P 14.1
Mieseler, Tilman: O 17.3, P 3.1
Mihm, Friedrich: O 15.3
Mike, Müller-Petke: O 16.9
Milsch, Harald: P 3.6
Minnig, Morgane: O 16.11
Moeck, Christian: O 16.11, P 15.4
Moeck, Inga: O 3.1
Möhler, Felix: P 5.2
Monninkhoff, Bertram: O 6.2
Monse, Michel: P 16.7
Moor, Robert: O 12.8

Moore, Willard. S.: P 9.22
 Moosdorf, Nils: O 9.8, O 9.9, P 9.12, P 19.9
 Muhrbeck, Moritz: O 4.7
 Muhrez, Rabea: P 11.3
 Müller, Christoph: O 9.9
 Müller, Jörn: P 1.3
 Müller, Klaus: O 9.9
 Müller, Matthias H.: O 7.2
 Musche, Fabian: O 9.1, O 10.8
 Musolff, Andreas: O 9.5

N

Nasemann, Andreas: P 2.3
 Ndedje-Allah Ronelngar, Mélanie: P 11.2
 Nersissian, Lidia: P 5.3
 Neukum, Christoph: P 11.2, P 11.6
 Neumann, Jörg: O 6.1
 Neumann, Zahra: P 1.4
 Nguyen, Van Lam: P 10.1
 Niedermayr, Andrea: O 19.14, P 1.5, P 9.13, P 9.15
 Nienstedt, Daniel-Phillip: P 16.6
 Nitsche, Claus: O 4.1, P 4.5
 Nödler, Karsten: O 16.4, O 16.7
 Noell, Ursula: P 10.2
 Nogueira, Guilherme: O 9.16
 Nordbeck, Johannes: O 7.5
 Nützmänn, Gunnar: O 9.4

O

Odenwald, Bernhard: O 19.11
 Oest, Johanna: O 18.9
 Ohmer, Marc: P 14.3
 Olderog, Thomas: P 13.2
 Orilski, Judith: O 3.6
 Ortmeier, Felix: P 13.3
 Osenbrück, Karsten: P 8.3
 Oude Essink, Gualbert H. P.: O 9.17

P, Q

Pache, Immanuel: O 4.10
 Panteleit, Björn: O 12.8, O 15.1, O 18.1, P 14.4
 Paufler, Sebastian: O 9.3, P 16.1
 Paul, Kerry F.: P 16.1
 Paul, Michael: O 2.4, P 2.1
 Pechstein, Armin: O 10.6
 Peter, Nillert: P 14.1
 Petrauskas, Sigitas: P 3.6
 Pezenka, Carolin: O 9.2
 Pflug, Christoph: P 19.2
 Pfunt, Helena: P 11.6
 Pham, Quy Nhan: P 10.2

Philipp, Blum: O 15.4
 Pichler, Thomas: P 18.2
 Pinzinger, Robert: P 9.14
 Piroth, Klaus: O 6.6
 Pitschka, Bernhard: O 6.1
 Poetke, Dieter: O 4.1, P 4.5
 Pohle, Michaela: O 15.3
 Pollak, Stefan: P 19.11
 Prause, Dirk: O 15.2
 Ptak, Thomas: O 19.13
 Quinger, Martin: P 11.1

R

Radigk, Sven: O 2.6
 Radny, Dirk: O 16.11
 Rahman, Mohammad Azizur: P 15.2
 Rai, Saroj: P 1.4
 Ramirez Duval, Juan: O 10.9
 Regenspurg, Simona: O 19.4, P 3.6
 Reichel, Frank: O 6.4
 Reichling, Jörg: O 11.1, O 14.6, O 18.10, P 11.3, P 15.3
 Reimann, Thomas: O 14.4, O 19.2, P 8.4, P 8.6
 Rein, Arno: O 5.5, P 13.5
 Reinhardt, Silke: O 15.3
 Renz, Alexander: O 14.7
 Reul, Winfried: O 4.7
 Richter, Harald: O 2.5
 Rieckh, Helene: P 11.2
 Riedel, Thomas: O 13.6
 Riegger, Johannes: O 14.1
 Riemann, Dieter: P 1.3
 Ries, Fabian: O 16.5
 Ritter, Simon: O 3.2, O 4.8
 Rock, Gerhard: O 4.6
 Roelofsen, Frans: O 6.3
 Röhm, Herbert: O 15.2
 Rohns, Hans-Peter: P 16.4
 Rosner, Peter: O 2.5
 Roth, Markus: O 2.1
 Rubbert, Till: O 16.3
 Rüber, Otto: O 2.8, P 3.5
 Rückert, Harald: O 18.8, P 13.7
 Rückl, Michaela: O 11.1, P 11.3
 Rude, Thomas R.: O 5.3, O 11.4, O 11.5, O 13.5, P 5.1
 Rudolph, David: O 12.6
 Rügner, Hermann: P 8.3
 Rühaak, Wolfram: O 3.6
 Rumohr, Sven: O 4.2, P 18.3

S

Sacher, Frank: O 16.7
 Salimi, Zahra: P 9.10
 Sallwey, Jana: P 17.2
 Sanden, Axel: P 3.6
 Sandhu, Cornelius: O 10.8
 Sanz-Prat, Alicia: O 17.1
 Sass, Ingo: P 8.8
 Sauter, Martin: O 12.1, O 12.5, O 16.5, O 19.3, P 8.7
 Schaaf, Jana: P 9.15
 Schäfer, Dietmar: P 5.2, P 16.6
 Schäfer, Dirk: O 4.3
 Schäfer, Thorsten: O 12.3
 Schäffer, Rafael: P 8.8
 Shankat, Mirko: P 8.5
 Schätzl, Peter: O 6.2
 Schelter, Lennart: P 9.16
 Scheurer, Marco: O 16.7
 Scheytt, Traugott: O 4.7, O 16.4, O 19.4, P 16.5
 Schiedek, Thomas: P 1.1, P 1.4, P 1.7, P 5.3, P 18.3
 Schill, Eva: O 12.3
 Schima, Benjamin: P 8.4
 Schimmelpfenning, Sebastian: O 16.2
 Schindler, Roland: O 13.5, P 5.1, P 15.1
 Schiperski, Ferry: O 16.4
 Schirmer, Mario: O 16.11, P 15.4
 Schlinsog, Tobias: O 15.2
 Schlömer, Stefan: O 18.9
 Schlösser-Kluger, Inga: O 18.8
 Schmidt, Gerhard: O 3.2
 Schmidt, Luisa: O 9.13
 Schmidt, Nadine: O 19.2
 Schmidt, Sebastian: O 16.5, P 8.7
 Schmidt, Stefanie: P 1.4
 Schmidt, Torsten C.: O 16.6
 Schmiedinger, I.: P 16.2
 Schmiedinger, Iris: P 9.1, P 9.2, P 9.22
 Schneider, Michael: O 19.15, P 19.1, P 19.3
 Schneider, Wilfried: P 9.18
 Schneidewind, Uwe: P 9.17
 Schoenbrodt-Stitt, Sarah: P 8.5
 Scholten, Jan: P 9.22
 Scholz, Christian: O 4.8, P 1.3
 Scholz, Eckhard: O 2.6
 Schöne, Tim: P 4.4
 Schreuer, Jürgen: P 19.13
 Schröder, Josephin: O 4.7
 Schröter, Sonja: P 9.18
 Schubert, Wencke: O 9.7
 Schulz, Carsten: O 15.3
 Schuster, Hannsjörg: O 18.6

Schüth, Christoph: O 13.7, P 13.2
 Schüttrumpf, Holger: P 9.16
 Schwarzbauer, Jan: P 5.1
 Schwarze, Berit: O 3.4
 Schweingruber, Mischa: O 4.10
 Schwerdtfeger, B.: P 16.2
 Seibert, Stephan: P 9.9, P 9.19
 Seidel, Nadine: O 9.3
 Seidel, Torsten: O 3.4
 Seiter, Katherina: O 12.8, O 18.1
 Selke, Stephanie: O 16.6
 Senner, Renate: O 18.8
 Shajari, Fatemeh: O 5.5
 Siebenthaler, Dörte: O 16.2
 Siemon, Bernhard: P 15.2
 Simon, Anne: O 16.6
 Simon, Elisabeth: O 19.2
 Sprengel, Nathalie: O 19.5
 Starke, Bettina: O 6.6
 Stefan, Catalin: P 17.1, P 17.2
 Steffanowski, Jacqueline: O 19.10
 Steidl, Jörg: O 9.9, O 9.11
 Steiner, Cornelia: O 4.9
 Steinmann, Frank: P 13.2
 Stemke, Marion: O 2.10, P 2.4, P 4.7
 Stigter, Tibor: O 9.16
 Stober, Ingrid: P 4.1, P 9.20
 Stoeckl, Leonard: P 18.4
 Stoepker, Klaas: O 18.3
 Stoll, Madeleine: O 12.3
 Stolpe, Harro: O 10.1
 Storck, Florian R.: O 16.7
 Strasser, Daniel: O 19.11
 Struck, Ulrich: P 9.2, P 19.1
 Struß, Janine: O 4.3
 Stumpf, Roland: O 3.6
 Stumpp, Christine: O 9.6
 Sültenfuss, Jürgen: P 9.2
 Sültenfuß, Jürgen: P 9.9
 Susanne A., Benz: O 15.4
 Sutanudjaja, Edwin: P 9.12
 Szewzyk, Ulrich: O 4.7

T

Tatomir, Alexandru: O 12.1, O 12.5
 Teiber, Holger: P 9.20
 Terrell, Alexa: P 8.7
 Thiel, Simon: P 1.1, P 1.7
 Thilo, Hofmann: P 9.8
 Thomas, Lutz: P 19.3
 Thomas, Rüdiger: O 3.5

Tiberghien, Christian: P 11.6
 Tielker, Jens: O 2.8
 Timothy P., Sullivan: P 8.6
 Tischner, Torsten: O 3.6
 Tissen, Carolin: P 4.6
 Tran, Mien: O 10.3
 Tran, Quang Tuan: P 10.1
 Trapp, Thorsten: P 9.21
 Trauth, Nico: O 9.5
 Trieu, Duc Huy: O 10.3, O 10.7
 Tritschler, Felix: O 12.4, O 12.7
 Trumm, Michael: O 12.3

U

Ueckert, Martina: O 3.3
 Ufrecht, Wolfgang: O 14.3
 Uhlmann, Wilfried: O 2.6, O 9.1, O 9.2, O 12.9
 Ullmann, Alena: O 18.6

V

Vaitl, Tobias: P 19.12
 Valickas, Robertas: P 3.6
 van Baaren, Esther S.: O 9.17
 van den Berg-Stein, Susanne: O 9.13, O 9.15
 van Geldern, Robert: O 9.6
 van Meerten, Johannes: O 6.3
 Vassolo, Sara: P 11.2, P 11.6
 v. Buttlar, Christine: P 15.1
 Veeger, Floris: P 3.6
 Velasco, Juan: P 1.4
 Veltri, Marcus: P 8.7
 Vetterlein, Felix: P 1.8
 Vienken, Thomas: O 7.5, P 7.1, P 7.2, P 7.3
 Viet, Trinh Quoc: O 10.3
 Virchow, Lioba: O 19.4
 Vollberg, Felix: P 19.9
 Voltz, Thomas: P 16.7
 Vomberg, Stefan: P 9.21
 von Freyberg, Jana: P 15.4
 von Hartmann, Hartwig: O 3.5
 Voss, M.: P 16.2
 Vyse, Stuart: O 9.14

W

Wagner, Frank: P 10.2
 Wallner, Markus: P 11.1
 Walter, Thomas: O 2.3, O 18.7
 Walther, Marc: O 19.12, P 19.9
 Wang, Bo: O 7.3
 Warner, Wiebke: O 16.5
 Wawerzinek, Britta: O 3.5

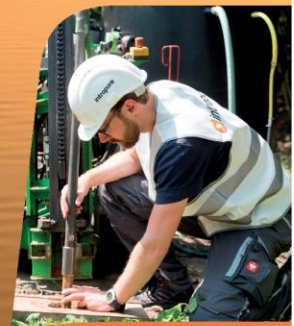
Weber, Britta: P 16.1
 Weidner, Christoph: O 16.9, P 6.2
 Weidner, Dr., Christoph: P 6.1
 Wellach, Yannic: P 9.7
 Wendland, Frank: O 15.2
 Wenka, Achim: O 12.3
 Wenzel, Lara: P 18.3
 Werner, Florian: O 6.5
 Westermann, Sebastian: O 19.1
 Westphal, Julia: P 9.1, P 9.22
 Wieber, Georg: O 2.2, P 2.4, P 4.7
 Wiederhold, Helga: P 15.2
 Wiener, Anke: O 5.4
 Wild, Lisa: P 13.5
 Willy, Hans: O 6.1
 Winde, Vera: P 9.1, P 9.2
 Wisotzky, Frank: O 19.5, P 1.2, P 1.5, P 2.3, P 9.13,
 P 9.15, P 13.3, P 13.6, P 16.3, P 19.8
 Witthöft, Melanie: P 19.6
 Wöhling, Thomas: O 12.6
 Wohnlich, Stefan: O 2.10, O 19.14, P 2.4, P 9.10,
 P 9.11, P 11.5, P 19.11, P 19.12, P 19.13
 Wrobel, Michael: O 9.6
 Wu, Zijun: P 9.2
 Wunderle, Maximilian: P 8.2
 Wunsch, Andreas: O 14.6
 Wurth, Nina: P 13.6

Y, Z

Yongli, Gao: P 8.6
 Zafar, Fateh: P 9.13
 Zhiteneva, V.: P 17.3
 Ziesch, Jennifer: O 3.5
 Zimmermann, Kai: O 12.9
 Zindler, Björn: O 10.2
 Zinsou, Didier Sèyivè: P 11.4
 Zirlewagen, Johannes: O 16.4
 Zosseder, Kai: O 4.10, P 3.2, P 3.3, P 3.4, P 4.2
 Zoßeder, Kai: P 4.3
 Zwinger, Johanna: O 14.7

PARTIKELBASIERTE IN SITU GRUNDWASSERSANIERUNG

>> Hochaufgelöste Standorterkundung



 **intrapore**
www.intrapore.com



Büro für
Hydrogeologie und
Umwelt GmbH

Hydrogeologie
Grundwassermodelle
Boden- und Grundwasserschutz
Geothermie
Brunnenbau
Rohstoffgewinnung
Wirtschaftlichkeitsanalysen

Dipl.-Geologe Dr. Bernd Hanauer
Dipl.-Geologe Dr. Walter Lenz
Dipl.-Geologe Dr. Christoph Möbus

Europastraße 11
35394 Gießen
Telefon: 06 41 / 9 44 22 0
Telefax: 06 41 / 9 44 22 11
E-Mail: hg@buero-hg.de
Internet: www.buero-hg.de



GeoPLASMA-CE

SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY PLANNING,
ASSESSMENT AND MAPPING STRATEGIES IN CENTRAL EUROPE

Neues Webportal zur Oberflächennahen Geothermie ist online!



Internationale Expertenplattform (seit Ende 2017)
Literaturdatenbank, Eventkalender und Kontaktverzeichnis



Informationssystem für 6 Pilotgebiete (ab Mitte 2018)
Interaktive Web Karten mit Standortabfragen

Erforschen Sie die Potentiale der Oberflächennahen Geothermie in 6 EU-Ländern und erfahren Sie mehr über das Projekt GeoPLASMA-CE!



<https://PORTAL.GEOPLASMA-CE.EU> f t

 Geologische Bundesanstalt

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE

Freistaat
SACHSEN

 CZECH
GEOLOGICAL
SURVEY

 GeoZS
Geološki zavod
Slovenije

 Interreg
CENTRAL EUROPE
European Union
European Regional
Development Fund



AGH
AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

geoENERGIE
Kurzzeitspeicher

giga
integrated systems

 Bundesverband
Geothermie

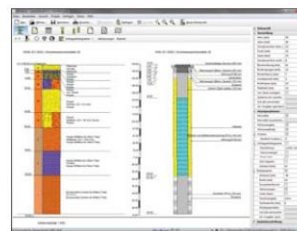
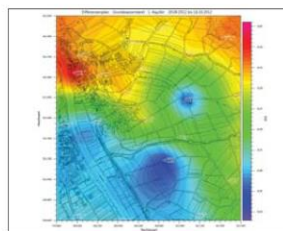
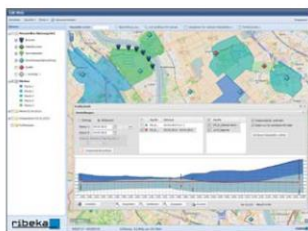
 City of
Ljubljana

GeoPLASMA-CE

GW Base[®] 9 GW Bore[®] GW Web[®]

Das Monitoringsystem für vielfältige Einsatzbereiche

- Langzeitmonitoring von Grund- und Oberflächenwasser
- Bergbau- und Industrieüberwachung
- Überwachungs- und Frühwarnsystem
- Hydrogeologische Gutachten und Planungen
- Messstellenkataster



- Wasserstände und Fördermengen
- Wasserproben, Bodenproben und Analysen
- Geologie und Bohrdaten, Bohrprofile und Ausbauskizzen
- Statistik und Reporting
- Echtzeitanbindung von automatischen Sensoren und Loggern
- Online Datenzugriff
- Gangliniendiagramme, Gleichenpläne, Tiefenprofile, hydrochemische Diagramme und vieles mehr



ribeka

ribeka GmbH
Johann-Philipp-Reis-Str. 9
53332 Bornheim
Tel.: 02222 990 600
Fax: 02222 990 601
info@ribeka.com

www.ribeka.com

Geologie - Hydrogeologie - Ökologie - Bodenkunde
GIS - Kartographie
Softwareentwicklung - Datenbanken



Beak Consultants GmbH
Am St.-Niclas-Schacht 13
D-09599 Freiberg / Deutschland
Tel. + 49 (0)3731 78 13 50
Fax + 49 (0)3731 78 13 52
postmaster@beak.de
www.beak.de



Prognose räumlicher Sachverhalte
mit Künstlicher Intelligenz und GIS:

advangeo®
Prediction Software

Mehr unter www.advangeo.com

- Nr. 1. Ceranna, Lars: Modellierung seismischer Wellenfelder in lateral heterogenen Mantelmodellen mit Hilfe der Chebyshev Pseudospektral-Methode. - 120 S., 58 Abb., 8 Tab., Bochum, 2002
- Nr. 2. Rogalla, Ulf: Rekonstruktion von Paläoumweltbedingungen mit Coccolithophoriden aus spätquartären Sedimenten des nördlichen Arabischen Meeres. - 130 S., 47 Abb., 32 Tab., 3 Taf., Bochum, 2002
- Nr. 3. Stöckhert, Bernhard & Dresen, Georg (Eds.): Symposium: Tectonics on Human time Scale. - 278 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2004
- Nr. 4. Mutterlose, Jörg & Steffahn, Jens (Hrsg.): Exkursionsführer: Die Kreide des subherzynen und östlichen niedersächsischen Beckens. - 155 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2004
- Nr. 5. Bender, Steffen; Wisotzky, Frank & Wohnlich, Stefan (Hrsg.): Bochumer Grundwassertag: Nitrat im Grundwasser. - 72 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2004
- Nr. 6. Wisotzky, Frank; Wohnlich, Stefan & Bender, Steffen (Hrsg.): Bochumer Grundwassertag: Natürliche Schadstoffminderung (NA) im Grundwasser. - 78 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2005
- Nr. 7. Demlie Bekele, Molla: Hydrogeology of the Akaki Catchment, Central Ethiopia: With Special Emphasis on the Problem of Groundwater Recharge. - 154 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2007
- Nr. 8. Bender, Steffen: Die Aussageunschärfe bei der Verwendung heterogener Datensätze im Rahmen wasserwirtschaftlicher Fragestellungen. - 99 S., Ill., graph. Darst., Kt., Bochum, 2007
- Nr. 9. Endrun, Brigitte: Constraints on the structure and dynamics of the Aegaen region from analyses of receiver functions and surface wave dispersion. - IV, 174 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2007
- Nr. 10. Friederich, Wolfgang (Ed.): Symposium: Subduction Dynamics – Bridging the Scales. - VI, 200 S., Ill. Graph. Darst., Bochum, 2007
- Nr. 11. Bender, Steffen, Wohnlich, Stefan & Wisotzky, Frank (Hrsg.): Bochumer Grundwassertag: Bewirtschaftung tiefer Grundwässer. - 106 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2007
- Nr. 12. Zosseder, Kai: Heterogene Verteilung von PAK-Kontaminationen im Grundwasser. - XIX, 236 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2007
- Nr. 13. Lenk, Stephan: Grundwasserbeschaffenheit und hydrogeochemische Prozesse in rheinischen Braunkohlen-Abraumkippen und in deren Abstrom. - 133 S. + Anl., Ill., graph. Darst., Diss. 2008. Bochum, 2008
- Nr. 14. Rubbert, Till Karl: Hydrogeologische Modellbildung eines kombinierten porösgelüfteten Grundwasserleittersystems des Bayerischen Waldes. - 378 S., Ill., graph. Darst., Diss. 2007. Bochum, 2008
- Nr. 15. Kottke, Bernd: Sickerwasserprognose für den Baustoff Stahlwerksschlacke zur Abschätzung der potentiellen Grundwasserkontamination. - XVII, 178 S., Ill., graph. Darst., Diss. 2008. Bochum, 2009
- Nr. 16. Lenk, Stephan; Wisotzky, Frank; Englert, Andreas; Wohnlich, Stefan: Bochumer Grundwassertag 2010: Hydraulische und Hydrogeochemische Modellierung. - 83. S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2010
- Nr. 17. Eisenberg, Vera: Abschätzung des Gefährdungspotenzials pyritreicher Gesteine im Hinblick auf einen Säure-Sulfat-Angriff auf Betonbauwerke. - 95 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2010
- Nr. 18. Friederich, Wolfgang (Ed.): Symposium: Lithospheric Deformation - Turning Observations into Models. - VI, 133 S., Ill., graph. Darst., Kt., Bochum 2010
- Nr. 19. Gröger, Jens; Englert, Andreas; Wisotzky, Frank; Wohnlich, Stefan: Bochumer Grundwassertag 2012: Hydrogeologie und Wasserwirtschaft im Ruhrgebiet. - 93 S., Ill., graph. Darst., Bochum, 2012
- Nr. 20. Wellesenbet, Shemelis: Hydrogeology, hydrochemistry and isotope hydrology of the Central Main Ethiopian Rift. - 175 S., Ill., graph. Darst., Kt., Bochum 2012
- Nr. 21. Banning, Andre; Englert, Andreas; Wisotzky, Frank; Wohnlich, Stefan: Bochumer Grundwassertag 2014: Zukunftsfragen der Hydrogeologie - 99 S., Ill., graph. Darst., Bochum 2014
- Nr. 22. Damtew, Aychluhim, D.: Source, mechanism, and rate of groundwater recharge in the south-western part of the Main Ethiopian Rift, East Africa. - VIII, 185 S., Ill., graph. Darst., Kt., Bochum 2015
- Nr. 23. Banning, Andre; Wisotzky, Frank; Wohnlich, Stefan: Bochumer Grundwassertag 2016: Grundwasser und Energie - Entwicklungen und Potentiale in NRW - 111 S., Ill., graph. Darst., Bochum 2016
- Nr. 24. Banning, Andre; Frank, Sascha; Kaufmann-Knoke, Ruth; Niedermayr, Andrea; Wisotzky, Frank; Wohnlich, Stefan: 26. FH-DGGV – Fachtagung, Bochum 2018: Grundwasser im Umfeld von Bergbau, Energie und urbanen Räumen - 267 S., Ill., graph. Darst., Bochum 2018