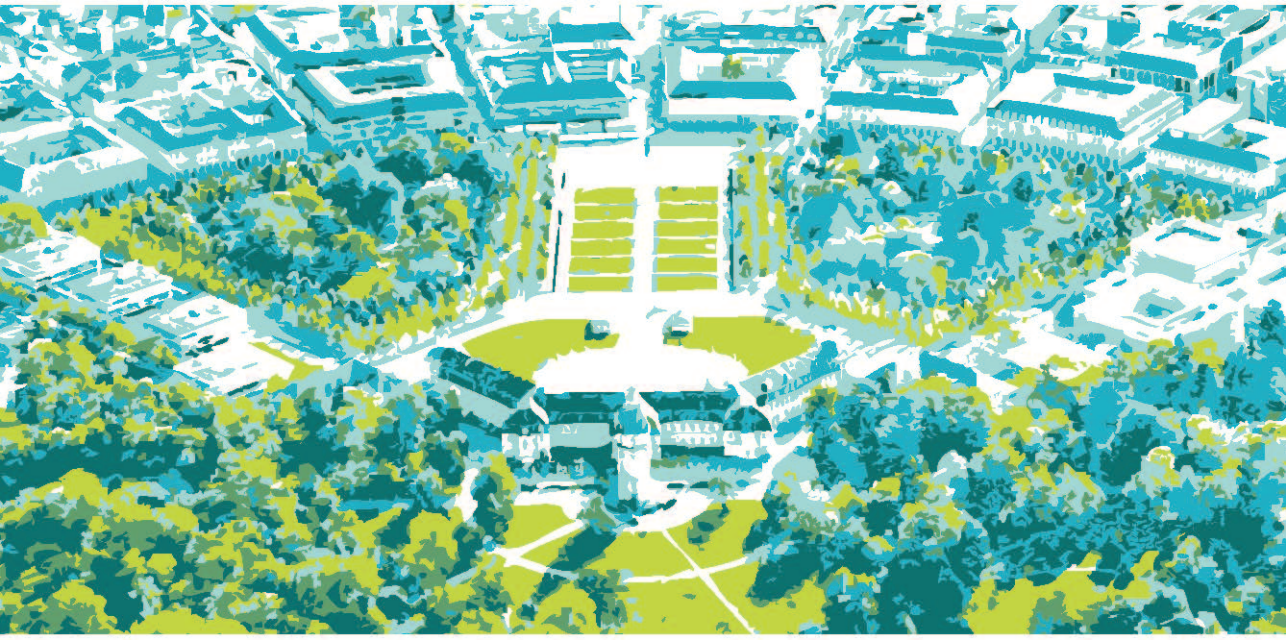
25. TAGUNG DER FH-DGGV
KARLSRUHE, 13.–17. APRIL 2016



GRUNDWASSER – MENSCH – ÖKOSYSTEME

Herausgegeben von:
P. Blum, N. Goldscheider, N. Göppert, R. Kaufmann-Knoke, J. Klinger, T. Liesch, I. Stober

KIT Scientific Publishing

P. Blum, N. Goldscheider, N. Göppert, R. Kaufmann-Knoke,
J. Klinger, T. Liesch, I. Stober (Hrsg.)

Grundwasser – Mensch – Ökosysteme

25. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV 2016,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 13. -17. April 2016

Grundwasser – Mensch – Ökosysteme

25. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV 2016,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 13.-17. April 2016

Herausgegeben von:
Philipp Blum, Nico Goldscheider, Nadine Göppert, Ruth Kaufmann-Knoke,
Jochen Klinger, Tanja Liesch, Ingrid Stober

KIT Scientific Publishing

Impressum

Scientific Publishing

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark of Karlsruhe Institute of Technology. Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu

This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License (CC BY-SA 3.0 DE): http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/

The cover page is licensed under the Creative Commons Attribution-No Derivatives 3.0 DE License (CC BY-ND 3.0 DE): http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/

Print on Demand 2016

ISBN 978-3-7315-0475-7
DOI 10.5445/KSP/1000051730

Inhaltsverzeichnis

Vorwort **1**

Danksagung **3**

Organisatorisches von A bis Z **5**

Exkursionen **9**

Programmübersicht **15**

Übersicht Poster **17**

Plenarvorträge **27**

1 Hydrogeologie alpiner Räume **31**

Vorträge 31
Poster 41

2 Aquifer systems in Europe and beyond **49**

Vorträge 49
Poster 60

3 Bauen und Grundwasser **71**

Vorträge 71
Poster 77

4 Endlager und Untertagedeponien **83**

Vorträge 83
Poster 94

5 Tiefe Reservoire – Synergien und Nutzungskonflikte **105**

Vorträge 105
Poster 111

6 Grundwasserbiologie **121**

Vorträge 121
Poster 127

7 Grundwasserhochstände – Ursachen und Lösungsansätze **131**

Vorträge 131
Poster 138

8 Isotopen- und Tracermethoden in der Hydrogeologie 145

Vorträge 145
Poster 158

9 Nitrat im Grundwasser – Eintrag, Abbau und Prognose..... 169

Vorträge 169
Poster 179

11 Identifikation hydrogeologischer Prozesse mit Spurenstoffen 183

Vorträge 183
Poster 195

12 Thermische Grundwassernutzung 207

Vorträge 207
Poster 217

13 Reaktive Stofftransportmodellierung 229

Vorträge 229
Poster 238

14 Urbane Hydrogeologie 245

Vorträge 245
Poster 251

15 Forum Junge Hydrogeologen 257

Vorträge 257
Poster 273

Autorenliste..... 275

Vorwort

Grundwasser, Mensch und Ökosysteme

Wir freuen uns, über 400 Kolleginnen und Kollegen aus der hydrogeologischen Forschung und beruflichen Praxis sowie Vertreter diverser Behörden zur 25. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie (FH-DGGV) in Karlsruhe begrüßen zu dürfen. Neben zahlreichen Teilnehmern aus Deutschland, Österreich und der Schweiz (D-A-CH), freuen wir uns ganz besonders über die Freunde und Kollegen aus Frankreich, Italien, Ungarn, Tschechien, Belgien, Schweden, Großbritannien, den USA und einigen anderen Ländern, die für diese Tagung nach Karlsruhe gereist sind.

Grundwasser aus Brunnen und Quellen ist weltweit in vielen Regionen die quantitativ wichtigste und qualitativ beste Trinkwasserressource. Größter Wasserverbraucher ist die landwirtschaftliche Nahrungsmittelproduktion, die oft auch zu einer Kontamination der Wasserressourcen führt. Hinzu kommen die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen Energie und Wasser – von nachhaltigen Formen der energetischen Wassernutzung, bis hin zu teils gravierenden Eingriffen in den Wasserhaushalt bei der Gewinnung fossiler Energieträger und beim Anbau von Biokraftstoffen.

Die Wassernutzung für Energie und Ernährung unter den Bedingungen des globalen Wandels mit dem Erhalt der Ökosysteme in Einklang zu bringen, gehört zu den großen Herausforderungen der Menschheit. Aktuell übersteigt die Wasserentnahme in vielen Regionen die Grundwasserneubildung, die Wasserqualität verschlechtert sich, und die direkt oder indirekt vom Grundwasser abhängigen Ökosysteme degenerieren. Es gibt jedoch auch positive Entwicklungen und neue Ansätze und Technologien, die eine ökologisch verträglichere Nutzung der Wasserressourcen ermöglichen.

Das Thema dieser Tagung lautet daher „Grundwasser, Mensch und Ökosysteme“. Die vielfältigen Aspekte dieses Themas werden in 13 thematischen Sessions und im Forum Junger Hydrogeologen intensiv diskutiert. Abgerundet wird das Programm durch drei spannende Keynote Lectures und eine populärwissenschaftliche Abendveranstaltung sowie Fortbildungskurse am Tag vor der Konferenz und Exkursionen im Anschluss an die Tagung.

Die Tagung wird von der Abteilung Hydrogeologie am Institut für Angewandte Geowissenschaften gemeinsam mit den Abteilungen für Ingenieurgeologie und Geothermie organisiert. Karlsruhe als klassischer „Wasserstandort“ ist ein idealer Ort, dieses große Thema gemeinsam anzugehen.

Prof. Dr. Nico Goldscheider

Danksagung

Wir danken dem wissenschaftlichen Komitee für die freundliche Kooperation:

Johannes Barth, Universität Erlangen
Peter Bayer, ETH Zürich
Axel Bergmann, RWW mbH
Heike Brielmann, Umweltbundesamt Wien
Ulrich Burger, BBT-SE Innsbruck
Nils Cremer, Erftverband Bergheim
Irina Engelhardt, Bergakademie Freiberg
Anita Eröss, Universität Budapest
Judith Flügge, GRS gGmbH Braunschweig
Patricia Göbel, WWU Münster
Johannes Grath, Umweltbundesamt Wien
Janek Greskowiak, Universität Oldenburg
Christian Griebler, Helmholtz Zentrum München
Jochen Hack, TU Darmstadt
Hans-Jürgen-Hahn, Universität Koblenz-Landau
Carsten Hansen, Consulaqua Beratungsges. mbH, Hamburg
Till Harum, Joanneum Research Forschungsges. mbH Graz
Uwe Hekel, HPC AG Rottenburg
Thomas Himmelsbach, BGR Hannover
Giorgio Höfer-Öllinger, GC Geoconsult ZT GmbH Wals
Thilo Hofmann, Universität Wien
Georg Houben, BGR Hannover
Ronald Kozel, BAFU Bern
Tobias Licha, Universität Göttingen
Bernhard Odenwald, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
Wolfram Rühaak, TU Darmstadt
Ingo Sass, TU Darmstadt
Martin Sauter, Universität Göttingen

Thorsten Schäfer, KIT

Traugott Scheytt, TU Berlin

Michael Schneider, FU Berlin

Holger Schüttrumpf, RWTH Aachen

Stefan Simon, Erftverband Bergheim

Michael Sinreich, BAFU Bern

Christine Stumpp, Helmholtz Zentrum München

Christoph Treskatis, Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH Lohmar

Kai Zoßeder, TU München

Organisatorisches von A bis Z

Exkursionen

Verbindlicher Anmeldeschluss für die Exkursionen war der 15. März 2016. Bitte beachten Sie die Aushänge zu Abfahrtszeit und Treffpunkt im Tagungsbüro.

Internet

Teilnehmer mit Eduroam-Zugang können diesen am KIT nutzen. Darüber hinaus können individuelle WLAN-Zugangscodes im Tagungsbüro erfragt werden.

Öffentlicher Nahverkehr

Der Campus Süd des KIT liegt in der Innenstadt von Karlsruhe und ist mit öffentlichen Verkehrsmitteln problemlos zu erreichen (Haltestelle Durlacher Tor/KIT-Campus Süd oder Kronenplatz). Die genauen Abfahrtszeiten finden Sie beim Karlsruher Verkehrsverbund (http://www.kvv.de). Die Fahrplanauskunft der Deutschen Bahn bietet detaillierte Informationen zur Anreise mit dem Zug.

Parkplätze

Kostenfreie Parkplätze finden Sie am Adenauerring „Waldparkplatz“. Weiterhin befindet sich die Tiefgarage „Fasanengarten“ in unmittelbarer Nähe (kostenpflichtig). Bitte beachten Sie, dass eine Zufahrt zum Campus-Gelände nicht möglich ist.

Posterausstellung

Die Poster können am Mittwoch, 13.04.2016 ab 16.00 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 200 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 +49 721 608 19900 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 10. März 2016 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

Taxizentrale Karlsruhe (0721) 944144
Taxi-Ruf Karlsruhe (0721) 160200
Taxibetrieb Christian Volkmann (0721) 48488900

Touristische Informationen

Ausführliche Informationen erhalten Sie in der Tourist-Information Karlsruhe, Bahnhofplatz 6, 76137 Karlsruhe (http://www.karlsruhe-tourismus.de).
Telefon: 0721/ 3720-5383

Öffnungszeiten:

Mo-Fr: 8.30-18.00 Uhr,
Sa: 9.00-13.00 Uhr

Verpflegung

Für das Mittagessen in der Mensa finden Sie Verpflegungsgutscheine in Ihren Tagungsunterlagen. Außerhalb der Mensa-Öffnungszeiten steht Ihnen die Cafeteria am Adenauerring 7 zur Verfügung (Mo-Do 7.30-17.00 Uhr, Fr 7.30-16.00 Uhr). Während der Kaffeepausen erhalten Sie warme und kalte Getränke und Snacks.

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 Vortragsda-tei daher rechtzeitig und mindestens eine Pause vor Ihrer eigenen Session ab.

Zahlung

Die Zahlungsmöglichkeit vor Ort ist Barzahlung. Der nächste Geldautomat befindet sich in der Mensa am KIT, Adenauerring 7 (Badische Beamtenbank).

Exkursionen

Ex1: Fahrradexkursion: "Urbane Wärmeinsel Karlsruhe"

Diese Fahrradexkursion führt quer durch die Stadt Karlsruhe und fährt zahlreiche Lokalitäten in Karlsruhe an, um die urbane Wärmeinsel in der Atmosphäre als auch im Untergrund zu erkunden. Im Rahmen dieser Exkursion werden Grundwassertemperaturen an sensiblen Grundwassermessstellen gemessen, darüber hinaus werden auch die Oberflächentemperaturen mithilfe eines Infrarotmessgeräts Vor-Ort gemessen. Die derzeitige geothermische Nutzung in der Stadt Karlsruhe, das geothermische Potential, die durch den Menschen verursachten Energieströme ins Grundwasser und die Auswirkungen auf die Grundwasserökologie werden ebenfalls während der Exkursion im Gelände erläutert und eingehend diskutiert. Aktuelle Forschungsergebnisse am Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW) zeigen, dass der anthropogen verursachte Wärmestrom 32 % des jährlichen Heizbedarfs in Karlsruhe nachhaltig decken könnte.

Leitung:	Prof. Dr. Philipp Blum (KIT), Susanne Benz (KIT)
Teilnehmerzahl:	max. 20 Personen
Zeitrahmen:	Samstag, 16.04.2016, 12:00 – 17:30 Uhr
Hinweise:	Fahrradexkursion
Kosten:	35 € pro Person

Ex2: Urbane Hydrogeologie: Karlsruhe und Rastatt

Die Exkursion "Urbane Hydrogeologie: Karlsruhe und Rastatt" führt zunächst zum Wasserwerk Rastatt Ottersdorf, wo seit 2011 eine zentrale Wasserenthärtungsanlage betrieben wird. Die Enthärtungsanlage arbeitet nach dem hier entwickelten und patentierten "Rastatter Verfahren", einer technisch optimierten Schnell-Entkarbonisierung für die Enthärtung von Trinkwasser mit Kalkmilch. Im Anschluss daran wird ein Einblick in die Geschichte der Karlsruher Stadtentwässerung gegeben. Höhepunkt ist die Besichtigung des Karlsruher Landgrabens, der mit einem Querschnitt von 17m² zu den größten Abwassersammlern Europas zählt. Der Landgraben entstand als offener Graben im Jahre 1588 und diente nach der Gründung Karlsruhes zunächst vor allem dem Transport von Baumaterial und der Hochwasserentlastung. Später wurde er als Abwasserkanal genutzt. Ab 1815 wurde der Landgraben bis 1905 nach und nach überbaut.

Der Landgraben ist bis heute in Betrieb, und sein Verlauf spiegelt sich an vielen Stellen im Karlsruher Stadtbild wider.

Leitung:	Dr. Jochen Klinger (KIT) Dr. Tanja Liesch (KIT)
Teilnehmerzahl:	max. 30 Personen
Zeitrahmen:	Samstag, 16.04.2016, 12:00 – 18:00 Uhr
Hinweise:	Bustransport
Kosten:	35 € pro Person

Ex3: Thermalwassernutzung und Besuch der Geothermieanlage Soultz

Natürliche Aufstiege heißer Tiefenwässer am Rand des Oberrheingrabens, induziert durch die unterschiedlichen Höhenlagen zwischen Schwarzwald (bzw. Vogesen) und dem Rheintal, wurden bereits von Römern und Kelten für Badezwecke aber auch zum Beheizen lokaler Einrichtungen genutzt. Die Thermalwässer wie Baden-Baden sind mit ca. 3,5 g/kg erhöht mineralisiert und reich an Natrium und Chlorid. Die Geothermieanlage in Soultz-sous-Forêts fördert heiße Tiefenwässer im Oberrheingraben aus Granit in 5000 m Tiefe. Bei den Wässern in Soultz handelt es sich um einen entsprechenden Wassertyp, allerdings mit einem deutlich höheren Gesamtlösungsinhalt von etwa 100 g/kg. Im Rahmen der Exkursion wollen wir zum einen das historische Thermalbad in Baden-Baden besuchen (kein Baden!) sowie die Geothermieanlage in Soultz-sous-Forêts.

Leitung:	Prof. Dr. Ingrid Stober (KIT)
Teilnehmerzahl:	max. 30 Personen
Zeitrahmen:	Samstag, 16.04.2016, 12:00 – 18:00 Uhr
Hinweise:	Bustransport
Kosten**:**	35 € pro Person

Ex4: Karsthydrogeologie – Blautopf und Gottesacker (1,5 Tage)

Diese Exkursion führt zu zwei sehr interessanten und schönen, aber sehr unterschiedlichen Karstsystemen, in denen spannende aktuelle Forschung stattfindet: Das Blautopf-System auf der Schwäbischen Alb und das Karstsystem Hochifen-Gottesacker in den Alpen. Im Einzugsgebiet des Blautopfs besuchen wir zunächst die Laichinger Tiefenhöhle, bevor wir uns Deutschlands schönste Quelle anschauen; 2012 wurden hier die ersten Markierungsversuche im Blauhöhlensystem durchgeführt, wodurch neue Erkenntnisse über die interne Struktur der Karstentwässerung gewonnen werden konnten. Anschließend fahren wir ins Kleinwalsertal, wo wir übernachten. Am nächsten Tag durchwandern wir das Schwarzwassertal auf voller Länge. Dort befinden sich eine hydrogeologisch interessante Bergsturzmasse, die größte Estavelle der Alpen und mehrere große Karstquellen, die gemeinsam das Karstsystem Hochifen-Gottesacker entwässern. Die Konfiguration des Röhrensystems konnte durch 16 Markierungsversuche geklärt werden, während die aktuelle Forschung auf die Quantifizierung der hydrologischen Dynamik und auf die hydraulische Modellierung dieses spektakulären alpinen Karstsystems abzielt.

Leitung:	Prof. Dr. Nico Goldscheider (KIT)
Teilnehmerzahl:	max. 20 Personen
Zeitrahmen:	Samstag, 16.04.2016, 12:00 Uhr - Sonntag, 17.04.2016, ca. 19:30 Uhr
Hinweise:	Bustransport, Voraussetzungen: Gutes Schuhwerk, wetterfeste Kleidung und Freude am Wandern
Kosten:	130 € pro Person

Rahmenprogramm und Abendvortrag

Icebreaker

Die Tagung startet mit einer Icebreaker-Party am Mittwochabend, 13. April 2016, ab 18:00 Uhr im Foyer des Audimax auf dem Campus des Karlsruher Instituts für Technologie. Während der Icebreaker-Party ist das Tagungsbüro für die Registrierung geöffnet.

Gesellschaftsabend

Der Gesellschaftsabend findet am Donnerstag, 14. April 2016, ab 19:30 Uhr im Hoepfner Burghof, Haid-und-Neu-Straße 18, statt. Der Hoepfner Burghof liegt ca. 1 km östlich des Gebäudes Audimax, zu Fuß benötigt man 15 Minuten. Die Lage ist auf dem Campusplan oder dem Campus Navigator verzeichnet.

Mitgliederversammlung der FH-DGGV

14.04.2016, 17:00 Uhr, Audimax A

Mitgliederversammlung der IAH

15.04.2016, 15:15 Uhr, Audimax A

Ehrungen

15.04.2016, 17:15 Uhr, Audimax A

Abendvortrag

Im Reich der Dunkelheit

Michael Kühn

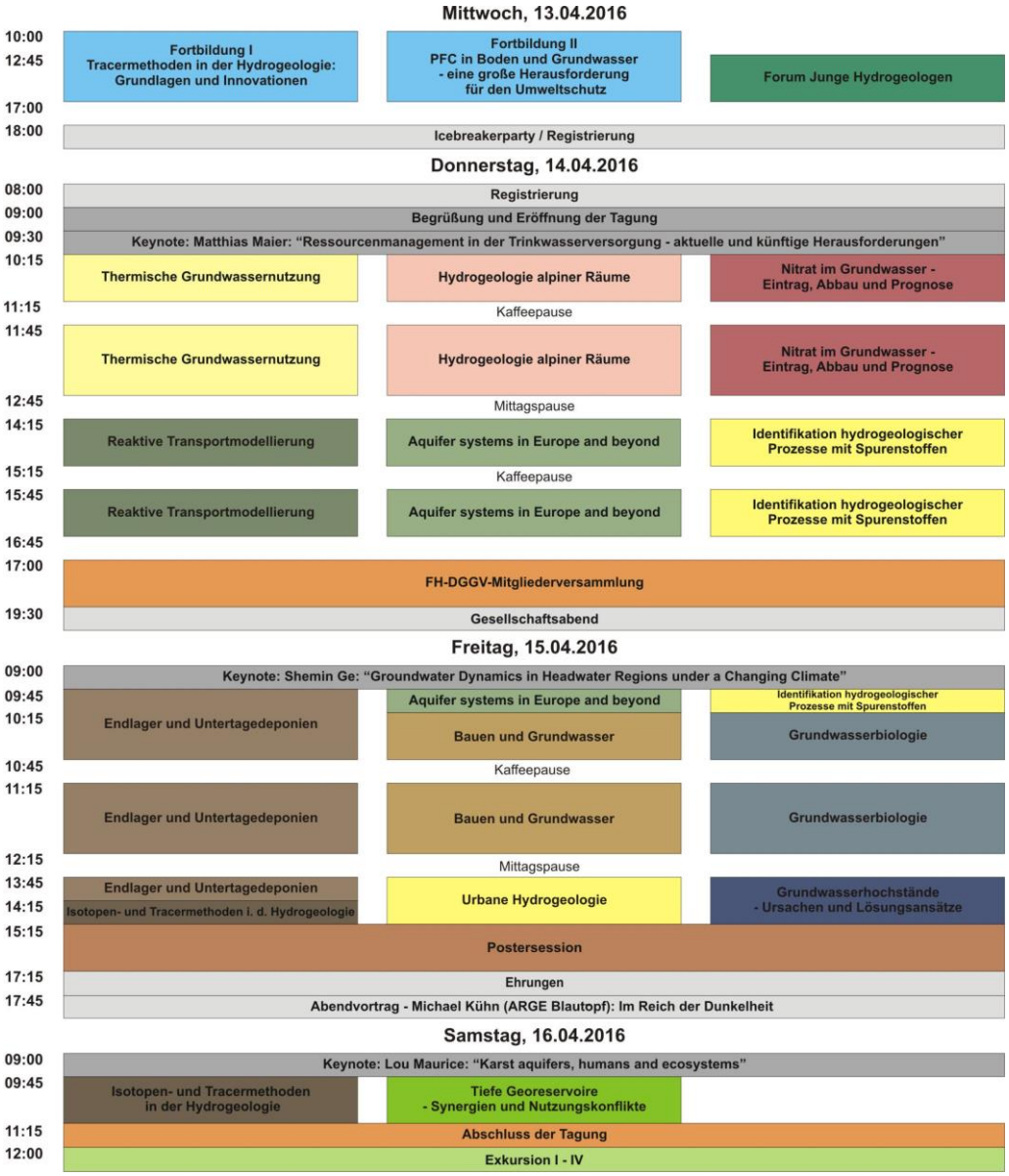
Der Vortrag 'Im Reich der Dunkelheit' gehalten von dem Arge Blautopf-Mitglied Michael Kühn entführt den Zuschauer in das dunkle Reich der Blauhöhle. Die Blauhöhle ist mit 12,6 km Länge eines der längsten und schönsten Höhlensysteme in Deutschland. Tauchen, schwimmen, klettern, kriechen – sind nur einige Herausforderungen, die der Höhlenforscher dieser Höhle zu überwinden hat. Der Vortrag zeigt die Geschichte der Blauhöhlenforschung und legt den Fokus auf die neuesten Erkenntnisse sowie Entdeckungen.

Tauchen Sie mit Herrn Kühn in das Reich der Dunkelheit ein – in die Blauhöhle hinter dem Blautopf.

15.04.2016, 17:45 Uhr, Audimax A

Der Abendvortrag ist öffentlich, eine Registrierung für die Konferenz ist daher nicht erforderlich.

Programmübersicht



Eine detaillierte Übersicht des Programms finden Sie auf der Tagungswebseite.

Übersicht Poster

1 Hydrogeologie alpiner Räume

P 1.1 ***Rafael Schäffer*, Konrad Siegfried, Ingo Sass**
Geogene Arsen- und Uranbelastung im Grundwasser des Zemmgrundes, NW Tauernfenster, Österreich

P 1.2 ***Wolfram Rühaak*, Hauke Anbergen, Ingo Sass**
A new Software Module for consideration of the hydraulic effect of freezing/thawing

P 1.3 ***Dirk Radny*, Behnam Doulatyari, Andrea Betterle, Pietro Fanton, Elisa Alessi Celegon, Mario Schirmer, Gianluca Botter**
Wie viel Wasser fliesst im Bach? Entwicklung eines WebGIS zur indirekten Abschätzung der Abflusscharakteristiken von Fliessgewässern innerhalb eines voralpinen Einzugsgebietes

P 1.4 ***Ulrich Lang*, Hannes Pfäfflin, Jochen Vogel**
Grundwassermodell Oberau – Simulation der instationären Strömungsverhältnisse im Kiesgrundwasserleiter des Loisachtales unter nivalen hydrologischen Randbedingungen

P 1.5 ***Rafael Schäffer*, Claus-Dieter Heldmann, Ingo Sass**
Genese der Hintertuxer Thermalwässer anhand der H- und O-Isotopenverhältnisse, Tuxertal, Österreich

P 1.6 ***Giorgia Lucianetti*, Roberto Mazza, Lucia Mastrorillo, Fulvio Celico, Enricomaria Selmo**
Characterization of a carbonate groundwater system using a multitracing approach: an example from the mountain region "Pale di San Martino (Italy)"

2 Aquifer systems in Europe and beyond

P 2.1 ***Lennart Schüler*, Nicolae Suciu, Peter Knabner, Sabine Attinger**
A Time Dependent Mixing Model for Concentration Fluctuations in Heterogeneous Aquifers

P 2.2 ***Julian Xanke*, Jochen Klinger, Tanja Liesch, Nadine Göppert, Ali Sawarieh, Nico Goldscheider**
Hydrogeological assessment of a managed aquifer recharge site at the Wala reservoir, Jordan

P 2.3 ***Roland Bäumle*, Thomas Himmelsbach**
Räumliche Erkundung von Grundwasserstockwerken in komplexen Strukturen am Fallbeispiel eines tiefen Kalahari Aquifers in der Zambezi Region (NE Namibia)

P 2.4 ***Sebastian Schmidt*, Fabian Ries, Joanna Doummar, Martin Sauter**
Bestimmung schneller Grundwasserneubildungsprozesse und quantitativer Quell-Vulnerabilität für Karbonatgrundwasserleiter im semi-ariden östlichen Mittelmeerraum

P 2.6 ***Thomas Walter*, Bernhard Wagner**
Die Regionale Hydrogeologie von Deutschland – Ein Gemeinschaftswerk von 16 Geologischen Landesdiensten

P 2.7 ***Diana Burghardt*, Johannes Richter, Elisabeth Simon, Susann Reichel, Eberhard Janneck, Jan Laubrich**
Treatment of Seepage Water from a Tailings Pond of Uranium Mining: Column tests with a novel Schwertmannite- Adsorbent

P 2.8 ***Patricia Göbel*, Johannes Meßer**
Erfassung aller Quellen in Westfalen (NRW)

P 2.9 ***Judith Flügge*, Viviana Re, Matthys A. Dippenaar, Carlos Maldaner, Gillian Hurding**
Promoting groundwater awareness through early career hydrogeologists - Securing the future groundwater generation

P 2.10 ***Johannes Barth*, Rohana Chandrajith, H.A.H. Jayasena, *Robert van Geldern***
Assessment of land subsidence mechanisms triggered by dolomitic marble dissolution from hydrogeochemistry and stable isotopes of spring waters

3 Bauen und Grundwasser

P 3.1 ***Christoph Drefke*, Markus Schedel, Johannes Stegner, Constantin Balzer, Volker Hinrichsen, Ingo Sass**
Einfluss der hydraulischen Eigenschaften von Bettungsmaterialien auf die Belastbarkeit erdverlegter Stromkabel

P 3.2 ***Uwe Hekel***
In welcher Qualität ermitteln wir eigentlich die hydraulischen Parameter für Baumaßnahmen im Grundwasser?

P 3.3 ***Georg Houben***
Verbesserung der Energieeffizienz von Brunnen - Möglichkeiten und Grenzen

P 3.4 ***Hermann Josef Lensing*, Thomas Nuber**
Umsetzung von Unterhalts-, Ausbau- und Renaturierungsmaßnahmen an Bundeswasserstraßen im Spannungsfeld konkurrierender wasserwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Anforderungen

P 3.5 ***Ingo Sass*, Rafael Schäffer**
Erkundung und Herkunft einer geogenen Kohlendioxidkontamination eines Thermalsolebades, Bad Nauheim

4 Endlager und Untertagedeponien

P 4.1 ***Elke Bozau*, Ina Voss**
Variationsbreite der chemischen Zusammensetzung von Grundwässern im Kontakt zu Salzformationen

P 4.2 ***Elke Bozau*, Ina Voss, Kai Schmidt, Kurt Mengel**
Hydrogeochemische Modellierungen zum Verhalten von Salzlösungen bei Abkühlung

P 4.3 ***Anne Gehrke*, Judith Flügge**
Hydrogeologische Fragestellungen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle

P 4.4 ***Julia Ghergut***
Endlagerwissen, Endlagersuche, Endlagerforschung: wohltuende Entkopplung

P 4.5 ***Rainer Herd*, Wlad Schafrik**
Grundwasserversalzung – Neue Methoden zur Bestimmung der Süß/Salzwassergrenze bis 200 m Tiefe

P 4.6 ***Timm Reisinger*, Christian Heck, Thomas Rüde**
Auswirkung stark salzhaltiger Grubenwässer auf die Schwermetallmobilität untertage verbrachter nichtnuklearen Reststoffe

P 4.7 ***Thorsten Schäfer*, Aurélie Chagneau, Francis Claret, Frieder Enzmann, Michael Kersten, Benoit Madé**
Mineral Precipitation-induced Pore Clogging and its Effect on Transport Parameters in Diffusion-controlled Porous Media

P 4.8 ***Madeleine Stoll*, Florian Huber, Gopala Darbha, Eva Schill, Thorsten Schäfer**
Particle retention on granite as a function of residence time and particle size using a synthetic fracture flow cell

P 4.9 ***Sarah Zeilfelder*, Klaus Hebig, Narimitsu Ito, Isao Machida, Atsunao Marui, Traugott Scheytt**
Systematische Untersuchungen zur Setup-Optimierung von „Push-Pull"-Tracer Tests

5 Tiefe Georeservoire - Synergien und Nutzungskonflikte

P 5.1 ***Julia Ghergut*, Horst Behrens, Martin Sauter**
Grundwasser und Georeservoire, inter-well und single-well: Was ist tracermethodisch jeweils anders?

P 5.2 ***Tobias Vaitl*, *Stefan Wohnlich***
Batch- und Säulenversuche zur Untersuchung des Sorptionsverhaltens von Uranin, Amidorhodamin G und Tinopal CBS-X an Gesteinen des Rheinischen Schiefergebirges unter erhöhten Temperaturbedingungen

P 5.3 ***Dagmar Schönwiese*, Sven Hagemann, Sebastian Feige**
Entwicklung von Messsystemen zur störungsfreien Bestimmung der Wasserstoffionen-konzentration und des Redoxniveaus geothermaler Fluide

P 5.4 ***Christoph Knuth*, Stefan Wohnlich**
Untersuchung der Hydrogeochemie in geothermalen Reservoiren mittels Hochdruck-Hochtemperatur-Säulenversuchen

P 5.5 ***Christoph Weidner*, Georg Houben, Thomas Himmelsbach**
Experimentelle Modellierung von Prozessen der Mineralausfällung und -auflösung im tiefen Untergrund

P 5.6 **Moritz Herbrich, *Bernhard Köhl*, Thomas Baumann**
Scalings at geothermal facilities exploring the Malm Aquifer in the Bavarian Molasse Zone

P 5.7 ***Sebastian Weinert*, Wolfram Rühaak, Kristian Bär, Ingo Sass**
Comparison of Hydro-Mechanical Coupled Numerical Simulations with ThermoTriaxial Lab Investigations

P 5.8 ***Björn Droste*, Frank Wisotzky, Stefan Wohnlich**
Untersuchungen zur Pyritoxidation in Sedimentproben des Tagebaues Garzweiler

6 Grundwasserbiologie

P 6.1 **Li Deng, Judith Feichtmayer, Rene Kallies, Christian Drosten, *Christian Griebler***
Diversity and functionality of groundwater viral communities

P 6.2 ***Ursula Eisendle-Flöckner*, Maurizio Battegazzore, Sylke Hilberg**
Eine Pilotstudie zu Diatomeen- und Nematodengemeinschaften hochalpiner Quellen

P 6.3 **Wenke Stoll, Cassandre S. Lazar, *Robert Lehmann*, Kirsten Küsel, Kai Uwe Totsche**
Extraction of microbial DNA from Muschelkalk formations in the Thuringian Basin

7 Grundwasserhochstände – Ursachen und Lösungsansätze

P 7.1 ***Johannes Christoph Haas*, Steffen Birk**
Dürreindizes: Eine Methode zur Charakterisierung von Grundwasserhochständen?

P 7.2 ***Markus Hammerl*, Herbert Schönwetter, Patrick Kotyla, Johannes Meßer, Kai Zosseder**
Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildungsrate im Stadtgebiet München und ihre potenzielle Auswirkung auf den langjährigen Grundwasseranstieg

P 7.3 ***Stephan Hannappel***
Auswirkungen von Grundwasserhöchstständen auf die Vitalität der Bäume im Biosphärenreservat Spreewald

P 7.5 **Christian Tomsu, *Patrick Keilholz*, Bertram Monninkhoff**
Gekoppelte Modellierung von Grundwasser-Oberflächenwasserinteraktionen

P 7.6 ***Henning Werker***
Grundwasservorhersage bei Hochwasser

8 Isotopen- und Tracermethoden in der Hydrogeologie

P 8.2 ***Anita Erőss*, Judit Mádl-Szőnyi, Heinz Surbeck, Ákos Horváth, Katalin Csondor, Nico Goldscheider**
Characterization of thermal karst aquifers in Hungary using natural tracers

P 8.3 ***Christiane Meier*, Karsten Osenbrück, Hans-Michael Seitz, Stephan M. Weise**
Understanding of lithium isotope systematics in rivers and subsurface water in a granitic catchment

P 8.4 ***Catharina Keim***
Identifizierung, Charakterisierung und Quantifizierung der Interaktion Grundwasser-See am Beispiel des Bodensees: Ein Toolkit für die nachhaltige Bewirtschaftung der regionalen Wasserressourcen

P 8.5 ***Benjamin Gilfedder*, *Sven Frei***
Quantification of groundwater fluxes and hyporheic exchange in streams and rivers using radon

P 8.6 ***Patrick Kotyla*, Arno Rein, Anja Wunderlich, Kai Zosseder, Florian Einsiedl**
Isotopic and statistical methods of analyzing groundwater- surface water interaction in an urban area (Munich, Germany)

P 8.7 ***Uwe Schneidewind*, Matthijs van Berkel, Christian Anibas, Gerd Vandersteen, Christian Schmidt**
Quantifying Vertical Streambed Fluxes Using Heat as a Tracer: Applying Two Novel Frequency Domain Approaches

P 8.8 ***Sascha Oswald*, Matthias Munz, Weishi Wang**
3D-Modellierung des Wärmetransport als Tracer beim Austausch von Fluss- und Grundwasser

P 8.9 ***Dietmar Schäfer*, Karsten Zühlke, Felix Möhler, Silvia Dinse**
Modellgestützte Identifikation von Bereichen mit geogen salinarem und geogen organischem Tiefenwasserzutritt im Rahmen von Bewirtschaftungsuntersuchungen am Potsdamer Wasserwerk Leipziger Straße

P 8.10 ***Martin Binder*, Klotzsch Stephan, Falk Händel, Diana Burghardt, Gunnar Laudel, Peter Dietrich, Rudolf Liedl**
Durchführung eines Einbohrloch-Markierungsversuches mit Deuteriumoxid und Uranin am Standort des Ökologischen Großprojektes Hydrierwerk Zeitz

P 8.11 ***Andreas Englert*, *Andre Banning*, *Jessica Siegmund*, *Sebastian Freye*, *Thorsten Gökpinar***
Multiple Tracertests in einem porösen Medium bei gleichzeitigem Clogging

9 Nitrat im Grundwasser – Eintrag, Abbau und Prognose

P 9.1 ***Nico Trauth*, Andreas Musolff, Jan H. Fleckenstein**
Raum- und Zeitmuster der Nitrat- und Ionenkonzentrationen in der Übergangszone zwischen Fluss und Grundwasser

P 9.2 ***Jan Raulf*, *Ben Gilfedder*, *Luisa Hopp*, *Sven Frei*, *Stefan Peiffer***
Identifikation von Hot-Spots grundwasserbürtigen Nitrateintrags in Fließgewässer mit Hilfe von Radon

P 9.3 ***Kübeck Christine*, Bergmann Axel**
Bewertung aktueller und zukünftiger Uranbelastungen in wasserwirtschaftlich genutzten Porengrundwasserleitern vor dem Hintergrund der aktuellen Nitratproblematik

11 Identifikation hydrogeologischer Prozesse mit Spurenstoffen

P 11.1 ***Thomas Walter*, Arnold Quadflieg, Bernhard Wagner**
Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Verwendung in der Wasserwirtschaft

P 11.2 ***Stefan Banzhaf*, Kai Bester, Jeffrey Lewis, Tobias Licha, Charlotte Sparrenbom, Roland Barthel**
PFASs in groundwater: the trouble contaminants of the future?

P 11.3 ***Mario Schaffer*, Kerrin Franziska Kröger, Karsten Nödler, Carlos Ayora, Jesús Carrera, Marta Hernández, Tobias Licha**
Untersuchungen zum Einfluss einer zusätzlichen Kompostschicht auf die Attenuationskapazität von anthropogenen organischen Spurenstoffen bei der künstlichen Grundwasseranreicherung

P 11.4 ***Thomas Walter***
Hintergrundwerte im Grundwasser – Beschreibung der nationalen Methode Deutschlands

P 11.5 ***Thomas Schiedek*, Jella Kandziora, Kaori Sakaguchi-Söder**
Eine optimierte Extraktionsmethode für Fluoranthen mittels ASE aus Mikroplastik

P 11.6 ***Aleksandra Kiecak*, Christine Stumpp**
Sorption and degradation rates of Emerging Organic Contaminants in well controlled laboratory experiment

P 11.7 ***Elke Bozau*, Tobias Licha, Hans-Joachim Stärk, Bettina Wiegand**
Hydrogeochemische Studien im Harz: Innerstesprung

P 11.8 ***Philipp Höhn*, Robert Brünjes, Andrea Bichler, Thilo Hofmann**
Bestimmung der Grundwasser-Verweilzeiten mit Hilfe eines nicht-reaktiven Dispersions-Modells unter Verwendung von anthropogenem Gadolinium als Tracer

12 Thermische Grundwassernutzung

P 12.1 ***Roman Schmidt*, Kurt Bucher, Ingrid Stober**
Alteration products of reservoir rocks of the Upper Rhine Graben under geothermal conditions

P 12.2 **Christian Anibas, Janik Kukral, Mathias Possemiers, *Uwe Schneidewind*, Marijke Huysmans**
Assessing thermal potential and iron (hydr)oxide precipitation around Aquifer Thermal Energy Storage wells in the phreatic aquifer of the Brussels Sand formation

P 12.3 ***Florian Heine*, Herbert Schönwetter, Patrick Kotyla, Kai Zosseder**
Bestimmung des Einflusses der thermischen Nutzung der Stadtbäche Münchens westlich der Isar anhand von Temperatur- und Abflussmessungen

P 12.4 ***Kai Zosseder*, Fabian Böttcher**
Entwicklung eines Nomogramms durch numerische und statistische Verfahren zur praktischen Abschätzung typischer Wärmestromfahnenlängen am Beispiel der nördlichen Münchener Schotterebene

P 12.5 ***Carina Wismeth*, Selina Muffler, Martina Ueckert, Reinhard Niessner, Thomas Baumann**
Fluid-matrix interactions during high-temperature aquifer storage – lab experiments and modelling

P 12.6 ***Martina Ueckert*, *Reinhard Nießner*, *Baumann Thomas***
High Temperature Aquifer Storage

P 12.7 **Yodha Nusiaputra, Alain Dimier, Kohl Thomas**
Thermal-Hydraulic-Chemical modeling of deep geothermal wellbores using Elmer-PHREEQC

P 12.8 ***Michael Kühn*, Charlotte Altmannsberger, Carmen Hens**
Waiweras Warmwasserreservoir – Welche Aussagekraft haben Modelle?

13 Reaktive Transportmodellierung

P 13.1 ***Emilio E. Sanchez-León*, Carsten Leven, Claus Haslauer, Olaf A. Cirpka**
Improved aquifer characterization using a combination of Hydraulic Tomography and Tracer Testing

P 13.2 **Sandhya Birla, *Falk Händel*, Prabhas Kumar Yadav, Rudolf Liedl, Bhagu Ram Chahar**
Impact of external stresses on steady state plume lengths

P 13.3 **Yorck Adrian, *Uwe Schneidewind*, Tomás Manuel Fernandez-Steeger, Rafig Azzam**
Transport and fate of manufactured silver nanoparticles in saturated heterogeneous natural porous media

P 13.4 ***Adalbert Huss***
Was haben komplexe Zahlen in der Hydrogeologie zu suchen?

P 13.5 ***Thomas Gudera*, Manfred Flittner, Reiner Söhlmann, Rudolf-Karl Teichmann, Gabriel Striegel, Ulrich Lang, Armin Durach, Michael Reinhard**
Grundwassermodellbasierte Unterstützung der Wasserwirtschaftsverwaltung bei der Bearbeitung der PFC-Problematik im Raum Rastatt / Baden-Baden

14 Urbane Hydrogeologie

P 14.1 ***Johannes Kloth*, Thomas Schulze, Uwe Schinzel, Maria-Theresia Schafmeister**
Bodenluftabsaugtest zur Bestimmung der pneumatischen Permeabilität der ungesättigten Bodenzone

P 14.2 ***Robert Sämann*, Thomas Graf, Insa Neuweiler**
Ein stochastischer Ansatz für Transportprozesse in einem Kanalsystem

P 14.3 **Irmgard von Kalben, Christian Gillbricht, Thomas Schulze**
Grundwasserverunreinigungen durch polyfluorierte Substanzen in Hamburg

P 14.4 ***Wolfram Rühaak*, Pham Hung, Ingo Sass**
Modeling subsidence due to groundwater withdrawal

P 14.5 **J Penckwitt, *R van Geldern*, B Hagspiel, J.A.C. Barth**
Quantifizierungen von Grundwassereintritten in städtische Abwassersysteme mittels stabiler Isotope

P 14.6 ***Sabine Meißner*, Volkmar Dunger, Jörg Matschullat**
Quantifizierung klimatisch bedingter Veränderungen der Grundwasserneubildung urbaner Gebiete am Beispiel des Stadtgebietes Dresden

15 Forum Junge Hydrogeologen

P 15.1 ***Katharina Brandner***
Konzeptionelles hydrogeologisches Modell der Embacher Plaike (Österreich) –- der Einfluss von Grundwasser auf rezente Massenbewegungen in inneralpinen quartären Talfüllungen

Plenarvorträge

14.04.2016, 9:30 Uhr, Audimax A

Ressourcenmanagement in der Trinkwasserversorgung – aktuelle und künftige Herausforderungen

Matthias Maier

Stadtwerke Karlsruhe GmbH

Die Stadtwerke Karlsruhe versorgen die Stadt Karlsruhe und weitere Gemeinden im Umland mit Trinkwasser, das aus Grundwasser aus der Rheinebene gewonnen wird. Der Versorgungsauftrag umfasst Trinkwasser hoher Güte abzugeben und Risiken für Versorgungsunterbrechungen sowie Qualitätseinbußen zu minimieren. Darüber hinaus ist der nachhaltige Betrieb der Wasserwerke in den letzten Jahren ein unverzichtbarer Bestandteil der Trinkwasserversorgung geworden.

Um diese drei genannten Ziele erreichen zu können, ist insbesondere ein modernes Ressourcenmanagement unverzichtbar. Hierzu gehören klassische Methoden wie die Überwachung der Ressource mittels regelmäßiger Wasserstands- und Beschaffenheitsmessungen, die Erstellung von numerischen Grundwassermodellen, die Ausweisung von Schutzgebieten und die kritische Begleitung wasserwirtschaftlich relevanter Vorgänge in den Einzugsgebieten der Wasserwerke. Zusätzlich werden innovative Verfahren eingesetzt, bei denen beispielsweise durch ein gezieltes Risikomanagement Gefährdungspotentiale identifiziert und dann bei Bedarf beseitigt oder überwacht werden, oder durch ein Grundwasser-Entnahmemanagement die Anforderungen des Naturraums in der Umgebung der Wasserwerke integral berücksichtigt werden.

Die Stadtwerke setzen sich mit Nachdruck dafür ein, dass die Trinkwasserversorgung als Bestandteil der öffentlichen Daseinsvorsorge erhalten bleibt. Hierzu zählt das Engagement der Stadtwerke Karlsruhe für die Ausnahmeregelungen zur Trinkwasserversorgung bei der 2013 verhandelten EU-Konzessionsrichtlinie sowie bei den derzeit verhandelten Freihandelsabkommen. Die umfassenden Konzepte zum Ressourcenschutz und zur Trinkwasserqualität sowie die Vorsorgeleistungen in der Trinkwasserversorgung sind Investitionen in die Zukunft

der öffentlichen Daseinsvorsorge. Sie müssen auch künftig Bestandteil der geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen und Regeln der Technik bleiben.

15.04.2016, 9:00 Uhr, Audimax A

Groundwater Dynamics in Headwater Regions under a Changing Climate

Shemin Ge

Dep. of Geological Sciences, University of Colorado-Boulder, USA

Groundwater systems receive significant recharge in headwater regions. Seasonal and long-term variations in surface temperature and precipitation are expected under a changing climate. Headwater regions are hydrologically sensitive to surface temperature changes due to the presence of frozen grounds that freeze and thaw seasonally and degrading permafrost. The freeze and thaw processes lead to changes in hydrogeologic properties and impede or enhance groundwater flow. A key question is how surface temperature variations impact groundwater recharge and its interaction with surface water. Coupled heat transfer and groundwater flow are modeled for two headwater catchments, one in Colorado USA and one in Tibet. Modeling illustrates that shallow groundwater flow in summer and early fall is most energetic as thawed ground promotes snowmelt infiltration, invigorating the exchange between groundwater and surface water. Projected warming leads to increased groundwater discharge to surface, insufficient recharge upstream will make it challenge to sustain the discharge.

16.04.2016, 9:00 Uhr, Audimax A

Karst aquifers, humans and ecosystems

Louise Maurice

British Geological Survey

Karst aquifers are important to humans in many ways. They provide vital water supplies to large parts of many countries; but they also contribute to our world heritage by providing examples of extraordinary geology and geomorphology, through creating some of the last great wilderness areas on the planet, and through harbouring unusual ecosystems that make an important contribution to global biodiversity. Karst aquifers form a spectrum of aquifer types from highly karstic cave bearing limestones to carbonates dominated by flow in fissures and small conduits. Karst is often not well recognised in carbonates where caves are rare, and as such present particular challenges in groundwater protection and management. This talk will explore some of these challenges and show some examples of how karst aquifers contribute to biodiversity.

1 Hydrogeologie alpiner Räume

Vorträge

O 1.1: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 10:15-10:30

Grundwasserneubildung in alpinen Gebieten: Modellbasierte Ermittlung und Einschätzung der Vulnerabilität auf klimabedingte Veränderungen

Christian Reszler[1], Till Harum[1], Peter Reichl[1]

[1] *Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH*
Kontakt: till.harum@joanneum.at

Nahezu 100 % der Trinkwasserversorgung in Österreich basiert auf Grundwasservorräten, vorrangig aus alpinen Regionen. Durch den Klimawandel, der sich im Gebirge vor allem durch einen deutlich stärkeren Temperaturanstieg als in Tallagen zeigt, sind bei ungünstiger Überlagerung mit verringerten Niederschlägen zukünftige Engpässe in der Versorgung in manchen Gebieten temporär denkbar. Bisherige Auswertungen in Österreich zeigten, dass vor allem der Süden und Südosten Österreichs betroffen sein könnte (Harum et al., 2008; Lebensministerium, 2011). Die vorliegende Arbeit präsentiert eine Studie zur Ermittlung von Grundwasserneubildung und -abfluss sowie zur Quantifizierung möglicher Auswirkungen von ungünstigen klimawandelbedingte Entwicklungen auf die Grundwasserreserven in alpinen Gebieten in Südösterreich. Zur Ermittlung der Wasserbilanz wird ein physikalisch basiertes hydrologisches Modell verwendet, das an regionalen Abflussmessungen kalibriert und validiert wird. Zahlreiche Abflussmessstationen wurden errichtet, welche auch sehr hoch gelegene Gebietsteile (> 1500 m) erfassen. Kontinuierliche Messreihen und periodische Einzelmessungen von ungefähr 10 Jahren sind verfügbar. Dies ermöglicht auch einen Rückschluss auf die Größenordnung der regionalen Niederschläge im Gebirge als Hauptkomponente der Wasserbilanz. Zur Abschätzung von historischen Langzeitentwicklungen der Wasserbilanz werden über Schätzformeln anhand der homogenisierten Daten aus HISTALP (Auer et al., 2007) die Modellergebnisse auf Jahresbasis bis zu 200 Jahre in die Vergangenheit verlängert. Zukünftige mögliche Entwicklungen als „what-if"-Szenarien werden mit dem Modell und dem „Delta-Change"-Ansatz ermittelt. Dargestellt werden die Ergebnisse in Testgebieten, die im Rahmen des ETC-Alpine-Space-Projekts ALP-WATER-SCARCE behandelt wurden. Bezüglich der historischen Entwicklung zeigt sich, dass die Grundwasserneubildung in den letzten 100 Jahren stetig zurückgeht; der Trend folgt im Großen und Ganzen dem Niederschlagstrend. Zusätzlich spielt in den letzten 30 Jahren die Überlagerung mit der Erhöhung der Lufttemperaturen und folglich höherer Verdunstung eine Rolle. Allerdings nimmt der Einfluss der Verdunstung mit der Seehöhe ab. Eine Auswertung der räumlichen Verteilung der Grundwasserneubildung z.B. des

„Rekordjahres“ 2003 zeigt, dass die Werte in den hohen alpinen Lagen im Gegensatz zu den Tallagen nur geringfügig vom langjährigen Mittel abweichen. Nach der gängigen Einschätzung zum Klimawandel ist auch in unseren Breiten in Zukunft vermehrt mit extremen Situationen wie im Jahr 2003 zu rechnen. Die modellbasierten Ergebnisse in diesem Projekt sind daher von hoher Bedeutung für die wasserwirtschaftliche Planung, deren Aufgabe neben der Beobachtung von Trends auch die Abschätzung möglicher zukünftiger Entwicklungen und deren Konsequenzen beinhaltet.

Literatur

Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R. , Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, Ch, Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J.-M., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovicp Z. & Nieplovaq, E. (2007): HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. International Journal of Climatology 27, S. 17-46.

Lebensministerium (2011): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft. Studie der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und Technischen Universität Wien im Auftrag von Bund und Ländern.

Harum, T., Poltnig, W., Ruch, C. Freundl, G. & Schlamberger, J. (2008): Variability and trends of groundwater recharge in the last 200 years in a South Alpine groundwater system as consequence of climate change. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-07672, 2008, Vienna.

www.alpine-space.org/2007-2013/projects/projects/detail/Alp-Water-%20Scarce/show/#project_outputs

O 1.2: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 10:30-10:45

Karstgeomorphologie und Karsthydrogeologie am Kitzsteinhorn (Hohe Tauern, Salzburg)

Katharina Lechner[1], Christoph Spötl[2], Giorgio Höfer-Öllinger[3], Markus Keuschnig[3]

[1] *geo.zt gmbh - poscher beratende geologen*

[2] *Institut für Geologie, Universität Innsbruck*

[3] *Geoconsult ZT GmbH*

Kontakt: katharina.lechner@geo-zt.at

Das Kitzsteinhornmassiv liegt am Nordrand der Hohen Tauern in den österreichischen Zentralalpen. Die dort weit verbreiteten Kalkglimmerschiefer des Penninikums weisen einen variablen Verkarstungsgrad auf und im Gletschervorfeld des Schmiedinger Keeses hat sich in diesen Gesteinen eine hochalpine Karstlandschaft entwickelt. Mehrere z.T. hunderte Meter tiefe Höhlen sind dort bekannt. Im östlich angrenzenden Kapruner Tal tritt mit den Kesselfallquellen eine Gruppe stark schüttender Quellen zu Tage.

Im Zuge einer Geländekartierung wurden oberflächliche Karstformen sowie offene und verstürzte Höhlen und Schächte unterhalb des Schmiedinger Keeses lokalisiert. Die Erkundung der Seitentäler zeigte, dass diese Karstlandschaft eine lokale Besonderheit hinsichtlich oberflächlicher Karstformen sowie auch der Abflusssituation darstellt.

Durch die monatliche Beobachtung und Beprobung von Quellen und Oberflächengewässern im Kapruner Tal sowie am Gletschervorfeld ergab sich ein umfassendes Bild der hydrogeologischen Verhältnisse des Karstsystems.

Die Kesselfallquellen setzen sich bei Niedrigwasser aus einem Dutzend Quellaustritten zusammen. Im Frühjahr springen weitere stark schüttende Quellaustritte an. Der konstant hohe Basisabfluss der Kesselfallquellen von mindestens 100 l/s im Winter wird im Sommer von einem stark schwankenden Direktabfluss überlagert und erreicht Höchstwerte von über 1000 l/s. Die Durchlaufzeit beträgt dabei nur wenige Tage, wie u.a. die Gegenüberstellung der Quellschüttungsganglinien mit Niederschlagsdaten zeigt.

Das Einzugsgebiet der Kesselfallquellen erstreckt sich über mehr als 10 km^2, wie ein Vergleich geomorphologischer und hydrologischer Kriterien ergab. Die stabile Isotopenanalyse, die auch die Auswertung von Niederschlagsproben inkludierte, lieferte für die Kesselfallquellen eine mittlere Einzugsgebietshöhe von ca. 2500 bis 2600 m. Diese Höhe korreliert mit jener der Karstlandschaft am Fuße des Gletschers.

O 1.3: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 10:45-11:00

Reliktische Blockgletscher als Grundwasserkörper in alpinen Einzugsgebieten – Speichereigenschaften und Entwässerungsdynamik

Gerfried Winkler[1], Thomas Wagner[1], Marcus Pauritsch[1], Andreas Kellerer-Pirklbauer[2]

[1] *Institut für Erdwissenschaften, Karl-Franzens Universität Graz*

[2] *Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz*

Kontakt: gerfried.winkler@uni-graz.at

Periglaziale Lockersedimente in alpinen Einzugsgebieten wie reliktische Blockgletscher stellen potentielle Grundwasserkörper dar, deren Speicherfähigkeit und Entwässerungsdynamik in den steirischen Niederen Tauern untersucht wurden. Die Untersuchungen umfassen Detailstudien an der Quelle des reliktischen Schöneben-Blockgletschers in den Seckauer Tauern. Des Weiteren wurden im regionalen Maßstab die Auswirkungen dieser Grundwasserkörper auf die darunter liegenden Flusssysteme untersucht. Die Detailstudien beinhalten die Analyse des Quellschüttungsverhaltens, die Auswertung der natürlichen Tracer Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und stabile Isotope (^{18}O und ^{2}H) und die Durchführung und Analyse zweier Tracerversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen. Zusätzlich wurden mittels geophysikalischer Untersuchungsmethoden die Geometrie des Schöneben-Blockgletschers und seine Schuttmächtigkeit bestimmt, welche in eine numerische hydraulische Modellierung des Blockgletschers eingingen.

Die Untersuchungen am Schöneben-Blockgletscher ergeben ein Abflussverhalten ähnlich dem von Karstquellen mit einer kurzfristig gespeicherten (mehrere Stunden bis Tage) und einer längerfristig gespeicherten (mehrere Monate) Abflusskomponente. In Kombination mit den

geophysikalischen Untersuchungen kann auf einen konzeptionellen Aufbau mit einer sehr grobblockigen, mehrere Meter mächtigen Deckschicht (Blöcken bis zu einigen Kubikmetern), einem sandig bis blockigen, hochdurchlässigen Hauptschuttkörper mit mehreren Zehnermeter Mächtigkeit und einer schluffigen bis feinsandigen, geringer durchlässigen Basis mit einer Mächtigkeit bis zu 10 m geschlossen werden. Aufgrund der gering durchlässigen Basisschicht ergibt sich eine hohe Speicher- bzw. Pufferwirkung des Schöneben-Blockgletschers, was eine wasserwirtschaftliche Bedeutung dieser Schuttformen als Wasserspender in Trockenzeiten und als Wasserspeicher bei Starkregenereignissen zur Prävention von Hochwässern bewirkt.

Auf regionalem Maßstab konnte die potentielle Speicher- bzw. Pufferwirkung anhand einfacher Niederschlags-Abfluss Modellierungen untermauert werden. Mehr als 560 blockgletscherverdächtige Formen wurden insgesamt für die steirischen Niederen Tauern ausgewiesen. Mehr als 50% der Seckauer Tauern und ca. 27 % der Niederen Tauern über 2000 m ü.A. entwässern über Blockgletscher. Aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften und ihrer zahlreichen Verbreitung in den steirischen Niederen Tauern können reliktische Blockgletscher als relevante Grundwasserleiter und folglich als wasserwirtschaftlich bedeutende Speicher-/Puffer ausgewiesen werden.

O 1.4: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 11:00-11:15

Die Bedeutung von Grundwasser in vergletscherten Einzugsgebieten: das Matscher Tal in Südtirol, Italien

Michael Engel[1], Daniele Penna[1], Alfonso Esposito[2], Lorenzo Brusetti[1], Giacomo Bertoldi[3], Werner Tirler[4], Francesco Comiti[1]

[1] *Fakultät für Naturwissenschaften und Technik, Freie Universität Bozen-Bolzano, Italien*
[2] *Fakultät für Biotechnologie, Universität Neapel Federico II, Italien*
[3] *Institut für Alpine Umwelt, EURAC, Bozen*
[4] *Eco-Research srl, Bozen, Italien*
Kontakt: Michael.Engel@unibz.it

Der Rückgang der Gletscher und steigende Temperaturen verändern die Abflussdynamik alpiner Einzugsgebiete. Eine Verschiebung der Abflusskomponenten im Gewässer von Schnee- und Gletscherschmelzwässern zu Niederschlags- und Grundwässern ist zu erwarten. Dies hat bedeutende Auswirkungen auf die Gewässerdynamik und Wasserverfügbarkeit im Gebirge und im Tiefland.

Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte im Matscher Tal, Südtirol (Italien), wurden seit 2011 der Saldurbach, seine Nebenbäche sowie verschiedene Quellaustritte in der Talsohle hydrochemisch untersucht. Auch der Niederschlag sowie die Schnee- und Gletscherschmelze wurden beprobt und analysiert. Seit 2013 wurden auch geochemische Analysen ausgewählter Quellwässer in der Talsohle und am Berghang durchgeführt.

Die Veränderlichkeit von Leitfähigkeit, Wassertemperatur und stabiler Wasserisotope δ^2H bzw. $\delta^{18}O$ der Quellwässer über verschiedene Zeitskalen ergab dominierende monatliche Schwankungen gegenüber täglichen und jährlichen Veränderungen. Eine hohe räumliche Variabilität in der Leitfähigkeit der Quellwässer in der Talsohle (93-351 µS/cm) und am Berghang (300-850 µS/cm) war festzustellen. Das Quellwasser der Talsohle wies grundsätzlich eine niedrigere Leitfähigkeit während der Schneeschmelze im Mai bis Juli auf (verbunden mit negativeren Isotopenwerten von δ^2H: -108,6 bis -114,7‰). Höhere Leitfähigkeitswerte und positivere Isotopenwerte (δ^2H: -93,2 bis -110,8‰) traten dagegen im Herbst und bei kühlerer Witterung im Sommer auf. Die Leitfähigkeit korrelierte stark mit der Konzentration der Elemente Ca, Li, Mg, S und Sr (Pearson's $r > 0.85$ und $p < 0.01$) (Esposito et al., 2015).

Mit Hilfe eines 2-Komponenten-Mixing-Models konnte gezeigt werden, dass der Anteil an Schneeschmelzwasser am Grundwasser im Laufe des Sommers abnimmt und sich aus ca. 93% im August und ca. 21% im September zusammensetzt. Im Gegensatz zum Saldurbach konnten Schneeschmelzwässer im Quellwasser im Juni nur geringfügig nachgewiesen werden, stellten aber im August die Hauptabflusskomponente der Quellwässer dar. Die Dynamik der monatlichen Abflussanteile war für die untersuchten Quellwässer in der Talsohle relativ ähnlich. Diese Ergebnisse heben die große Bedeutung der Schneeschmelze für die Grundwasserneubildung hervor und zeigen komplexe Fließwege mit längeren Verweilzeiten des infiltrierenden Schmelzwassers in den Untergrund auf (Penna et al., 2014).

In Bezug auf sieben analysierte Schmelzwasser-Tagesganglinien des Saldurbachs von 2011-2013 zeigte sich, dass Grundwasser mit 58%–82% den Gewässerabfluss unterhält (Engel et al., 2015). Dies bestätigt die große Relevanz von Grundwasser auch im Tagesverlauf alpiner Gewässer (Brown et al., 2007).

Zukünftige Untersuchungen sollen die Höhenlage des Quellen-Einzugsgebiets erfassen sowie anhand weiterer geochemischer Analysen die räumliche Variabilität der Quellen beleuchten und einen möglichen Einfluss des Permafrosts quantifizieren.

Literatur

Brown, L.E., Milner, A.M., Hannah, D.M. (2007): Groundwater influence on alpine stream ecosystems. – Freshwater Biol. 52: 878–890.

Engel, M., Penna, D., Bertoldi, G., Dell'agnese, A., Soulsby, C., Comiti, F. (2015): Identifying run-off contributions during melt-induced run-off events in a glacierized alpine catchment. – Hydrol. Process.

Esposito, A., Engel, M., Ciccazzo, S., Daprà, L., Penna, D., Comiti, F., Zerbe, S., Brusetti, L. (2015): Spatial and temporal variability of microbial communities in high alpine waterspring sediments (in preparation).

Penna, D., Engel, M., Mao, L., Dell'agnese, A., Bertoldi, G., Comiti, F. (2014): Tracer-based analysis of spatial and temporal variation of water sources in a glacierized catchment. – Hydrol. and Earth Syst. Sc. 18: 5271–5288. DOI:10.5194/hess-18-5271-2014.

O 1.5: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 11:45-12:00

Hydrogeologische Landesaufnahme des bayerischen Alpenanteils – eine erste Bilanz

Günter Kus[1], Marcellus Schulze[1], Timo Spörlein[1]

[1] Referat 104 Hydrogeologie, Bayerisches Landesamt für Umwelt – Geologischer Dienst
Kontakt: guenter.kus@lfu.bayern.de

Im Rahmen des EFRE-Projekts Informationsoffensive Oberflächennahe Geothermie (IOGI) wurden im Zeitraum 2008 bis 2015 u. a. der bayerische Alpenanteil hydrogeologisch durch das BayLfU aufgenommen. Mit Teilen der Faltenmolasse handelt es sich um eine Fläche von 5600 Km², dies entspricht in etwa 40 TK25 Blattschnitten. Neben der naturräumlichen Sonderstellung des bayerischen Alpenbogens (u. a. Klima, Topographie, Vegetation) ergaben sich hydrogeologische Aspekte, die einige wesentliche inhaltliche Unterschiede zwischen den Alpen und anderen hydrogeologischen Teilräumen Bayerns aufzeigen:

- hohe Durchsatzraten ober- und unterirdischer Abflüsse
- hohe witterungsbedingte Variabilität in Qualität und Quantität der Abflüsse
- hydraulische Kleinsysteme (Abb. 1)

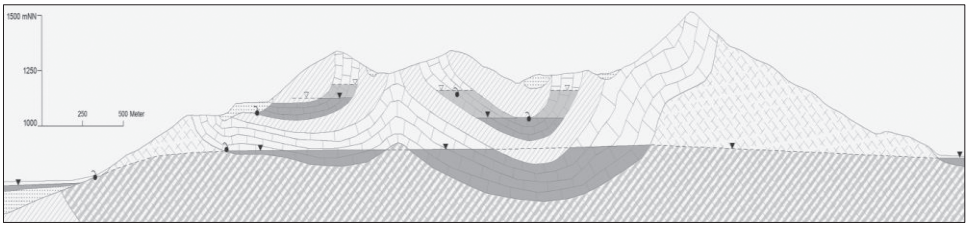


Abb. 1: Stockwerksbau und hydraulische Kleinsysteme im Bayerischen Synklinorium, Rottach Egern.

Mit Abschluss der Arbeiten Ende 2015 ist ein guter Zeitpunkt einer ersten Bilanz gegeben. Für den Alpenraum wurden nahezu 10.000 Grundwasseraufschlüsse im Bodeninformationssystem Bayern digital erfasst. Da sich die Bohraufschlüsse im Wesentlichen auf die Talräume beschränken, wurde der Aufnahme von Quellen und Quellbächen ein entsprechender Stellenwert zur hydrogeologischen Charakterisierung der alpinen Einheiten eingeräumt. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf eine intensive Kartiertätigkeit im Gelände u. a. mit umfangreicher Grundwasserbeprobung gelegt. Somit können derzeit etwa 2.000 Grundwasseranalysen verteilt über den Betrachtungsraum digital abgerufen und ausgewertet werden. Bisherige Auswertungen bestätigen insbesondere die Aussagekraft der Vorortparameter, die für etwa 3.500 Objekte z. T. als Wiederholungsmessung vorliegen. Mit ihnen sind neben einer Erstinformation zum geochemischen Hintergrund oftmals differenzierte Einschätzungen zur lokalen Hydraulik möglich. Parallel zur Geländeaufnahme wurden die Geologischen Grundlagen hydrogeologisch

interpretiert. Aktuell liegt ein flächendeckender Entwurf zur hydrogeologischen Karte im Maßstab der verfügbaren Geologischen Karten – i. d. R. 1:25.000 - vor. Im regionalen Zuschnitt erhalten dabei alle Hydrogeologischen Einheiten umfangreiche Beschreibungen, die mehrheitlich auch lokale Besonderheiten berücksichtigen. Auffällig sind z. B. weit verbreitete Lockergesteinsauflagen, die im alpinen Raum u. a. als Zwischenspeicher oder schützende Deckschichten eine hydrogeologisch wichtige Funktion einnehmen. Die individuelle Charakterisierung diverser Einheiten - insbesondere die der Lockergesteine - bleibt aufgrund fehlender Kartierinformationen nicht selten lückenhaft. Mit regionalem Expertenwissen erscheint jedoch eine flächenhafte Bearbeitung über Generalisierungen in vielen Fällen möglich.

Im Zuge der Auswertungen lassen sich vorab einige grundlegende Erkenntnisse für das bayerische Alpengebiet ableiten. An einigen ausgewählten Beispielen werden im Gesamtraum vor allem aufgrund der ausgeprägten Reliefunterschiede und des großräumig strukturellen Baus wiederkehrende hydrogeologische Phänomene (z. B. Überlaufsysteme, Grundwasserspeicher entlang hangparalleler Auflockerungen) aufgezeigt. Gleichsam werden aber auch wegen des variierenden Decken-und Faltenbaus regionale Unterschiede deutlich. Lokale hydrogeologische Besonderheiten (Abb.1) sind infolge der tektonischen Vielfalt und des abwechslungsreichen Gesteinsinventars ebenso typisch.

O 1.6: in Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 12:00-12:15

Karstsystem Laubenstein (Chiemgauer Alpen) – Einsichten aus Tracerversuchen

Stefan Wohnlich[1], Thomas R. Rüde[2]

[1] *Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum*
[2] *Hydrogeologie, RWTH Aachen*
Kontakt: ruede@hydro.rwth-aachen.de

Das Laubenstein-Gebiet in den Chiemgauer Alpen wird von einer schmalen SW – NE streichenden Doppelsynklinale beherrscht, deren Kern jurassische Kalksteine aufweist (Fischer & Lange 1962). Die Faltenschenkel werden von triassischen Gesteinen, v.a. dem Hauptdolomit, eingenommen, die Grundwassergeringleiter sind. Nur wenige überwiegend rheinisch streichende Störungen durchsetzen die Synklinale. Die Faltenachse fällt nach SW ein. In den gut verkarstungsfähigen jurassischen Kalksteinen haben sich größere, bis 170 m Tiefe erkundete Karsthöhlen entwickelt (Spöcker 1962). Das Gebiet stellt daher einen für Grundwasseruntersuchungen sehr günstigen, relativ geschlossenen Körper dar. Es ist allerdings kein Naturlysimeter. Unsere Tracerversuche zeigen, dass die Grundwasserströmung überwiegend entgegen der tektonischen Struktur zu einer zentrale Quelle (mit temporären Nebenquellen) nach NE erfolgt, die ca. 120 m über dem aktuellen Talboden hängt.

Diese Hammerbachquelle hat in feuchten Jahren Schüttungen um 0.4 $m^3 s^{-1}$, die nach Regenfällen bis 1 $m^3 s^{-1}$ betragen können. Die Zeit zwischen einsetzendem Starkregen und Anstieg des Abflusses beträgt ca. 35 h. In trockenen Jahren, wie dem untersuchten Sommer 2003, kann die Schüttung auf unter 0.2 $m^3 s^{-1}$ zurückgehend. Die Untersuchungen mit bis zu 5 verschiedenen Fluoreszenztracern, die z.T. kombiniert eingesetzt wurden, zeigen das zu erwartende schnelle Reagieren auf Starkregenereignisse. Höhere maximale Fließgeschwindigkeiten bis 70 $m h^{-1}$ sind im feuchten Untersuchungsjahr 2000 festzustellen. Allerdings ergibt der Vergleich von Uranin mit gleicher Einleitstelle eine wesentlich höheren Wiedererhalt (> 90 %) im trockenen Jahr 2003.

Die generell hohen Wiedererhalte von 30 – 60 % der eingeleiteten Tracermassen belegen die zentrale hydraulische Funktion der Hammerbachquelle im NE des Systems. Alle anderen untersuchten Quellen im Umgriff der Synklinale blieben ohne Nachweis. Die Tracer weisen bei kombinierter Eingabe an einem Punkt ein gleiches Transportverhalten bezüglich Geschwindigkeiten und Wiedererhalt auf. Die in den beiden Untersuchungsjahren wiederholte Einleitung von Uranin am gleichen Ort (ein Ponor ca. 500 Höhenmeter über dem Niveau der Hammerbachquelle) zeigt auf, dass in trockenen Jahren bei einem tiefen Karstwasserstand eine stark auf die Hauptquelle ausgerichtete Karstentwässerung besteht. Bei hohen Karstwasserständen werden auch ältere Karstniveaus – im Jahr 2000 erfolgte nach Starkregen ein Abfluss an einer Quelle ca. 100 Höhenmeter über der Hammerbachquelle - aktiviert, was zu vermindertem Wiedererhalt an der Hammerbachquelle (60 % des Uranins) führt. Auch diese alten Karstniveaus scheinen in der nordöstlichen Vorzugsrichtung angelegt zu sein.

Literatur

Fischer, R. & Lange S. (1962): Zur Geologie des Laubensteingebietes. – In: Treibs (Hrsg.): Das Laubensteingebiet im Chiemgau – Jahresheft für Karst- u. Höhlenkunde, 3: 11-23; München.

Spöcker, R. G. (1962): Karstmorphologischer Untersuchungen im Laubensteingebiet. – In: Treibs (Hrsg.): Das Laubensteingebiet im Chiemgau – Jahresheft für Karst- u. Höhlenkunde, 3: 237-249; München.

O 1.7: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 12:15-12:30

Hydrogeologie des Untersberges und des angrenzenden Salzburger Beckens

Markus Reischer[1], Bichler Benjamin[2], Spötl Christoph[3], Höfer-Öllinger Giorgio[1], Wyhlidal Stefan[4]

[1] *Geoconsult ZT GmbH*
[2] *Geologiebüro Jesacher*
[3] *Institut für Geologie, Universität Innsbruck*
[4] *AIT Austrian Institute of Technology GmbH*
Kontakt: markus.reischer@geoconsult.eu

Das Salzburger Becken bei Grödig und der Untersberg stellen eine wichtige Trinkwasserressource dar. Bisher wurde angenommen, dass es zwischen diesen beiden Aquiferen auch eine Verbindung gibt. Brandecker (1974) vermutete, dass Karstwasser unterirdisch in den Porenaquifer infiltriert. Im Zeitraum von Jänner 2012 bis März 2013 wurde am und um den Untersberg ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt. In einem 4-wöchigen Rhythmus wurde an Quellen, Fließgewässern und im Porengrundwasser Messungen der vor-Ort-Parameter sowie Probenahmen zur Analyse der stabilen Isotope (^{18}O, ^{2}H) und für chemische Analytik durchgeführt.

Im Porenaquifer des Salzburger Beckens zeigen die stabilen Isotope deutlich die Infiltration der Berchtesgadener Ache bei St. Leonhard. Zudem lässt sich die Infiltration des Rosittenbachs im Bereich Glanegg eindeutig nachweisen. Die vermuteten unterirdischen Karstwasserzutritte sind mit Hilfe der Isotopenanalysen nicht nachweisbar, da die Quellen und Fließgewässer vom Untersberg isotopisch zu ähnlich sind. Abstichdaten verschiedener Grundwassermessstellen zeigten, dass große Änderungen des Grundwasserstandes auch ohne Reaktionen des Karstsystems auf Niederschlagsereignisse möglich sind.

Mit Hilfe der $\delta^{18}O$-Werte von Niederschlagsproben wurde ein isotopischer Höhengradient von -0,14 ‰/ 100 m berechnet, welcher die Grundlage für die Abschätzung der mittleren Einzugsgebietshöhe der Quellen war. Für die Fürstenbrunner Quelle ergibt sich eine mittlere Einzugsgebietshöhe von 1800 m. Für das Wasser der Fürstenbrunner Quelle wurde eine mittlere Verweilzeit von ca. 0,4 Jahren berechnet. Gemeinsam mit den sehr konstanten Temperatur- und Leitfähigkeitswerten zeigt dieser Wert im Vergleich zu anderen Karstquellen der Nördlichen Kalkalpen ein unerwartetes Ergebnis.

Der Nachweis der Uferfiltration der Berchtesgadener Ache führt zum Schluss, dass – neben Niederschlag – die Berchtesgadener Ache einen Großteil zur Grundwasserneubildung beiträgt. Nimmt man entlang der von Süden nach Norden verlaufenden Grundwasserströmungsrichtung die Berchtesgadener Ache und den Niederschlag als Endglieder einer Zweikomponentenmischung an, so liegen die Isotopenwerte der Messstellen auf einer Mischungsgeraden zwischen diesen beiden Endgliedern. Rechnerisch ergibt sich für die vom Berg weitesten entfernte Hellbrunner Orpheusquelle ein Niederschlagsanteil von über 90 %. Somit ist der Ursprung des Grundwassers, das bei den Hellbrunner Quellen zu Tage tritt, hauptsächlich im lokalen Niederschlag zu suchen. Damit kann ein Zusammenhang mit den Karstquellen vom Untersberg ausgeschlossen werden.

Die graduelle Änderung des Mittelwerts der Isotope bzw. der Leitfähigkeit im Porenaquifer bestätigt die im Grundwassermodell (Höfer et al., 2007) errechneten Fließwege. Mit keiner der verwendeten Methoden konnten eindeutige Hinweise auf eine Infiltration von Karstwasser in den Porengrundwasserkörper nachgewiesen werden.

Literatur

Brandecker, H., 1974. Hydrogeologie des Salzburger Beckens. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie 26, 5-39.

Höfer, G.; Heimlich, K.; Müggenburg, K. & Huemer, H. (2007): Das Grundwassermodell der Stadt Salzburg – numerische Modellierung mit Visual ModFlow. In: Marschallinger, R. & Wanker, W. (Hrsg.), Computeranwendungen in Hydrologie, Hydrogeologie und Geologie. Beiträge zur COG-Fachtagung Salzburg 2007. Wichmann.

O 1.8: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 12:30-12:45

Das Abflussverhalten des Karstwassers am Beispiel des Untersberg bei Salzburg

Georg Gruber[1], Steffen Birk[2], Giorgio Höfer-Öllinger[3], Georg Zagler[4]

[1] *Geocentricom*
[2] *Institut für Erdwissenschaften, Universität Graz*
[3] *Geoconsult ZT GmbH*
[4] *Höhlenverein Salzburg*
Kontakt: georg.gruber@geocentri.com

Ziel der Arbeit ist die Beschreibung von Abflussverhältnissen in Karstgebieten mittels „einfacher“ mathematischer Modelle. Als Untersuchungsgebiet wurden die Siphonzonen im Bereich des Karstwasserspiegels der Höhlensysteme der Fürstenbrunner Quellhöhle und des Gamslöcher-Kolowrat-Salzburger Schacht Systems am Untersberg bei Salzburg gewählt. Diese Höhlensysteme sind in der vadosen Zone gut erforscht. Die phreatische Zone ist weitgehend unbekannt und es fehlt jede Vorstellung, wie sich das Wasser im Karstgebirge, im Bezug auf Schwankungsverhalten, Verweildauer und Abflussverhältnisse, verhält. In der Zeit von 2009 bis 2014 wurden in den Wintermonaten, bei niedrigen Grundwasserständen, am Karstwasserspiegel Datenlogger installiert. Diese Datenlogger zeichneten alle 5 bzw. 10 Minuten den Umgebungsdruck und - temperatur auf. Nach Auswertung und Korrektur der erhaltenen Daten, kann trotz der Komplexität eines Karstsystems unter Verwendung relativ einfacher mathematischer Modelle für das Fallen des Karstwasserspiegels eine gute Übereinstimmung von berechneten zu gemessenen Wasserständen erzielt werden. Zur Modellierung der Abflussverhältnisse am Unheimlichen See wurden zwei Modellansätze verwendet. Zum einen wurden die Modellansätze nach Fiorillo (2011) mit einem linearen Speicher und zum anderen Modellansätze mit mehreren gekoppelten Speichern verwendet. Bei Betrachtung der Wasserdrücke der einzelnen am Karstwasserspiegel montierten Logger lässt sich eine Druckdifferenz feststellen. Diese Druckdifferenzen können durch Anwendung eines Rohrreibungsmodelles „Druckverlust aufgrund von Rohrreibung“ zufriedenstellend berechnet werden. Die verwendete Methode der Kreuzkorrelation der Wasserstände lässt auf einen hydraulischen Zusammenhang verschiedener, in mehrtägigen Fußmärschen über die vadose Zone erreichbarer Siphonzonen („Unheimlicher See“, „Neue Heimat“, „Tiefsee“ und „Orktränke“) schließen. Diese Siphone weisen, sowohl bei der Betrachtung über den gesamten Messzeitraum, als auch bei der Betachtung einzelner Extremereignisse, nur geringe zeitliche Verzögerungen bei Wasserspiegeländerungen

auf. Durch Kombination zweier benachbarter Datenlogger („Talsiphon“ und „Unheimlicher See“) kann auf Basis von Abflussmessungen bei unterschiedlichen Schüttungen (0,1 bis 14,6 m^3/s) eine kombinierte Schlüsselkurve erstellt werden. Mithilfe dieser Schlüsselkurve kann erstmals eine nahezu exakte Darstellung des Abflusses der Fürstenbrunner Quelle über einen Zeitraum von vier Jahren erstellt werden. Mit den verwendeten mathematischen Modellen zur Beschreibung der Auslaufkurve eines Reservoirs lässt sich eine Abschätzung über die Gesamtmenge des Karstgrundwassers im Einzugsgebiet und auf der Basis eine Wasserbilanz und eine Abgrenzung des Einzugsgebietes erstellen.

Literatur

Fiorillo, F. (2011): Tank-reservoir drainage as a simulation of recession limb of a karst spring hydrographs. - In: Hydrogeology Journal 19, 1009-1019.

Larocque, M., Mangin, A., Razack, M., & Banton, O. (1998): Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of large karst aquifer (Charente, France). - In: Journal of Hydrology 205, 217-231.

Mayaud, C., Wagner, T., Benischke, R., & Birk, S. (2014). Single event time series analysis in a binary karst catchment evaluated using a groundwater model (Lurbach system, Austria). - In: Journal of Hydrology 511, 628-639.

Poster

P 1.1

Geogene Arsen- und Uranbelastung im Grundwasser des Zemmgrundes, NW Tauernfenster, Österreich

Rafael Schäffer[1], Konrad Siegfried[2], Ingo Sass[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, FG Angewandte Geothermie, TU Darmstadt*

[2] *Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Umweltmikrobiologie, Leipzig*

Kontakt: schaeffer@geo.tu-darmstadt.de

In der österreichischen Trinkwasserverordnung ist für Arsen ein Grenzwert von 10 µg/L und für Uran ein Grenzwert von 15 µg/L festgelegt. In den bislang zur Trinkwasserversorgung genutzten Quellen werden diese Grenzwerte nicht immer eingehalten. Um Alternativen für die Trinkwasserversorgung zu identifizieren, sind in einer flächendeckenden, zweiwöchigen Geländekampagne über 100 Quellen im gesamten Zemmgrund untersucht worden.

Arsenkonzentrationen wurden zu Vergleichszwecken mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS), Massenspektrometrie (ICP-MS) und einem weiterentwickelten ARSOlux-Messgerät bestimmt. ARSOlux ist ein handlicher Biosensor, der Arsenmessungen im Trinkwasser vor Ort ermöglicht. Die Urankonzentrationen wurden mit ICP-MS gemessen.

Die Arsen- und Urankonzentrationen sind im Zemmgrund lokal variabel und überschreiten teilweise um ein Vielfaches die Grenzwerte. Die kristallinen Gesteine des nordwestlichen Tauernfensters verursachen die verhältnismäßig hohen Konzentrationen in den ansonsten relativ

gering mineralisierten Grundwässern. Besonders hohe Konzentrationen wurden in der Umgebung der Olperer Scherzone festgestellt.

Die Studie führte zu einem flächendeckenden Verständnis der geogenen Hintergrundbelastung bei Uran und Arsen, welches für das 225 km² große Einzugsgebiet mit der regionalen Geologie sehr gut verifiziert werden konnte.

P 1.2

A new Software Module for consideration of the hydraulic effect of freezing/thawing

Wolfram Rühaak[1], Hauke Anbergen, Ingo Sass[2]

[1] *Darmstädter Exzellenz Graduiertenschule für Energiewissenschaft und Energietechnik, Technische Universität Darmstadt*

[2] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, Fachgebiet Angewandte Geothermie, Technische Universität Darmstadt*

Kontakt: ruehaak@geo.tu-darmstadt.de

Changing climate will likely change the distribution of permafrost in the Alps. Thawing (and freezing) can influence slope stability and the groundwater regime. For modeling such processes a new module for the code FEFLOW was developed which takes the effect of latent heat into account (Anbergen et al., 2014).

The module was successfully benchmarked with comparable other codes (Rühaak, et al., 2015) and will be further extended to consider also effects of mechanical stress due to the volume changes resulting from phase changes.

References

Anbergen, H., Rühaak, W., Frank, J., Sass, I. (2015): Numerical simulation of a freeze-thaw-testing procedure for borehole heat exchanger grouts. - Canadian Geotechnical Journal, 52(8): 1087-1100.

Rühaak, W., Anbergen, H., Grenier, C., Mckenzie, J., Kurylyk, B. L., Molson, J., Roux, N., Sass, I. (2015): Benchmarking numerical freeze/thaw models. - Energy Procedia, 76: 301-310.

P 1.3

Wie viel Wasser fließt im Bach? Entwicklung eines WebGIS zur indirekten Abschätzung der Abflusscharakteristiken von Fließgewässern innerhalb eines voralpinen Einzugsgebietes

Dirk Radny[1], Behnam Doulatyari[1], Andrea Betterle[1], Pietro Fanton[2], Elisa Alessi Celegon[2], Mario Schirmer[1], Gianluca Botter

[1] *Abt. Wasserressourcen und Trinkwasser, Eawag*
[2] *i4 Consulting S.r.l., Padova, Italien*
Kontakt: dirk.radny@eawag.ch

Der Kenntnis der Abflusscharakteristik eines Fließgewässers kommt in vielerlei Hinsicht eine grosse Bedeutung zu. Insbesondere in natürlichen, naturbelassenen und revitalisierten Gewässern und Gewässerabschnitten steuert der Abfluss die lokale Ökomorphologie und hat damit unter anderem Auswirkung auf Fischwegsamkeiten und Nährstofftransport. In Bezug auf die Interaktion zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser stellt die Abflusscharakteristik eines Oberflächengewässers zudem eine wesentliche Steuerungsgröße in Bezug auf den quantitativen und qualitativen Austausch beider Bereiche dar. In planerischer Hinsicht dient die Abflusscharakteristik eines Gewässers zudem als obligatorische Eingangsgröße zur Bemessung der Energiegewinnung durch Laufwasserkraftwerke, der Ausscheidung von Retentionsbereichen sowie der Bestimmung optimaler Standorte für eine Flussrevitalisierung. Die direkte Abflussbestimmung über die Zeit erfolgt jedoch in der Regel nur an wesentlichen Knotenpunkten eines Gewässers, wie zum Beispiel an Einzugsgebietsauslässen oder Zusammenflüssen zweier Fließgewässer. Für Zwischenstrecken oder gar Gewässerabschnitte 1. Ordnung fehlen in der Regel Daten. Vor diesem Hintergrund steht die Entwicklung eines WebGIS, welches ermöglicht, punktgenaue Abflusscharakteristiken innerhalb eines Einzugsgebietes zu generieren und abzurufen. Die Abflusscharakteristik wird hierbei durch die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Probability Density Function, PDF) und die Abflussdauerlinie (Flow Duration Curve, CDF) beschrieben, welche auf Grundlage von wenigen Eingangsgrößen stochastisch bestimmbar sind. Diese Eingangsgrößen sind neben dem digitalen Geländemodel, dem Gebietsniederschlag sowie der Wasserbilanz eines Gebietes in Verbindung mit einem stochastischen Abflussmodell nach Botter et al. (2009) und Doulatyari et al. (2015) bestimmbar. Die entwickelte Methodik wurde für das präalpine Einzugsgebiet der Thur (NE Schweiz) aufgebaut und erfolgreich getestet. In nachfolgenden Schritten ist die Implementierung von synthetischen Niederschlagsdaten in Bezug auf Klimaänderungen geplant. Langfristig sollen zudem auch hydrochemische Parameter in das modular aufgebaute WebGIS aufgenommen werden.

Literatur

Botter, G., Porporato, A., Rodriguez-Iturbe, I. & Rinaldo, A. (2009): Nonlinear storage-discharge relations and catchment streamflow regimes. Water Resour. Res., 45, W10427

Doulatyari, B., Betterle, A., Basso, S., Biswal, B., Schirmer, M. & Botter, G. (2015): Predicting streamflow distributions and flow duration curves from landscape and climate. Adv. Water Resour., 83, 285-298

P 1.4

Grundwassermodell Oberau – Simulation der instationären Strömungsverhältnisse im Kiesgrundwasserleiter des Loisachtales unter nivalen hydrologischen Randbedingungen

Ulrich Lang[1], Hannes Pfäfflin[1], Jochen Vogel[2]

[1] *Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH*
[2] *Stadtwerke München*
Kontakt: lang@kobus-partner.com

Der ergiebige mehrschichtige Kiesgrundwasserleiter des Loisachtales wird von den Stadtwerken München zur Trinkwasserversorgung genutzt. Die Entnahme erfolgt dabei aus dem unteren Teil des quartären Kiesgrundwasserleiters, der über zwei teilweise über 10 m mächtige Tonhorizonte vom oberen Teil des Kiesgrundwasserleiters getrennt ist.

Der Kiesgrundwasserleiter wird über die angrenzenden Berghänge des Ammer- und Estergebirges gespeist. Über die Festgesteinsschwelle bei Eschenlohe findet der unterirdische Abfluss aus dem mehr als 100 m mächtigen quartären Becken in das Murnauer Moos statt. Die Engstelle bei Eschenlohe führt dazu, dass die Piezometerhöhe des unteren Kiesgrundwasserleiters im Norden über Flur gespannt ist und am östlichen Talhang ergiebige Quellbäche aus dem Kiesgrundwasserleiter entspringen.

Im Zusammenhang mit der Verlängerung des bestehenden Wasserrechts wurde ein hydrogeologisches Modell entwickelt, auf dessen Basis ein dreidimensionales instationäres numerisches Grundwassermodell erstellt wurde. Mit Hilfe eines hydrologischen Modells vom oberirdischen Einzugsgebiet wurden die Grundwasserneubildung und der Zufluss über die angrenzenden Berghänge bestimmt. Dabei zeigt sich, dass das nivale Einzugsgebiet in den Wintermonaten zu einem vergleichsweise geringen Randzustrom führt. Erst mit der Schneeschmelze wird der Grundwasserspeicher wieder aufgefüllt und bleibt in der Regel über die Sommermonate auf Grund des Niederschlags bei vergleichsweise hohen Grundwasserständen.

Die hydrologischen Prozesse in den Berghängen werden über das Modell HEC-HMS simuliert. Dabei werden ein Schneespeichermodul, eine Bodenwasserhaushaltsberechnung und ein Speichersystem zur Simulation des Direkt- und Basisabflusses verwendet. Die Berechnung erfolgt differenziert nach den Einzugsgebieten der angrenzenden Bergbäche. Da die Temperatur und damit die Schneeschmelze stark höhenabhängig sind, wird jedes Einzugsgebiet in vier Höhenscheiben gleicher Fläche geteilt und die Temperatur und der Niederschlag höhenkorrigiert angesetzt. Mit dem zeitlich hoch aufgelösten hydrologischen Modell wurden der Randzufluss und die Neubildung auf Tagesbasis berechnet.

Das Grundwassermodell wurde einer langjährigen Kalibrierung auf Monatsbasis unterzogen. Zusätzlich erfolgte die Nachbildung von tagesdifferenzierten Schwankungen während eines Großpumpversuchs im Jahr 1978 und einer mehrwöchigen Betriebsunterbrechung im Jahr 2010. Auf der Grundlage dieses langjährig kalibrierten und mit tagesdifferenzierten Berechnungen überprüften Modells wurde eine Auswirkungsprognose der Trinkwasserentnahme erstellt. Im Focus der Untersuchungen standen mögliche Auswirkungen der Trinkwasserentnahme auf den Moorwasserhaushalt und auf das Abflussverhalten der Quellbäche. Für die weitergehende Bewilligung ist vorgesehen, die Trinkwassergewinnung unter Berücksichtigung der Versorgungssicherheit mithilfe der Erkenntnisse aus dem Grundwassermodell weiter auf die Belange des Naturschutzes zu optimieren.

P 1.5

Genese der Hintertuxer Thermalwässer anhand der H- und O-Isotopenverhältnisse, Tuxertal, Österreich

Rafael Schäffer[1], Claus-Dieter Heldmann[1], Ingo Sass[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, FG Angewandte Geothermie, TU Darmstadt*
Kontakt: schaeffer@geo.tu-darmstadt.de

In Hintertux (Tuxertal, Zillertal) befinden sich auf 1500 m ü.A. die höchsten Thermalquellen Mitteleuropas. In unmittelbarer Nähe befindet sich der Tuxbach-Überleitungsstollen, durch den Schmelzwasser des Tuxer Ferners in einen Stausee übergeleitet wird. Dieser Stollen ist knapp 7 km lang, verläuft in einer Höhe von 1810 m bis 1785 m und weist eine maximale Gebirgsüberdeckung von 1.230 m auf. Beim Bau dieses Überleitungsstollens wurden von 1969 bis 1971 am wärmsten Wasserzutritt 18,3 °C gemessen. 2015 betrug die maximale Wassertemperatur 14,6 °C.

Um die Genese des Thermalwassers besser zu verstehen und einen möglichen Zusammenhang zum Wasser im Überleitungsstollen zu prüfen, wurden die H- und O-Isotopenverhältnisse untersucht. Dazu wurde an mehreren Messstellen im Tuxertal zwischen 640 m und 2.560 m Höhe ein halbes Jahr lang der Niederschlag gesammelt. Im gleichen Zeitraum wurden die Hintertuxer Thermalquellen, andere kalte Quellen in der Umgebung und die Wasserzutritte im Überleitungsstollen mehrmals beprobt.

Die Isotopenverhältnisse sämtlicher Proben befinden sich auf der lokalen Niederschlagsgeraden. Für die Wässer des Überleitungsstollens konnte eine Korrelation zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und der Isotopensignatur festgestellt werden.

Diese Daten stellen die Grundlage für das strukturelle Modell der Thermalwassergenese im Raum Hintertux dar.

P 1.6

Characterization of a carbonate groundwater system using a multitracing approach: an example from the mountain region "Pale di San Martino (Italy)"

Giorgia Lucianetti[1], Roberto Mazza[1], Lucia Mastrorillo[1], Fulvio Celico[2], Enricomaria Selmo[2]

[1] *Università degli studi di Roma Tre*
[2] *Università degli Studi di Parma*
Kontakt: giorgia.lucianetti@uniroma3.it

Carbonate aquifers, such as limestones and dolomites, are one of the main source of drinking water worldwide as it is estimated that 25% of the global population is supplied by karst water (Ford and Williams, 1989). Climatic changes, including significantly lower rainfall and higher temperatures are increasing the water stress and the need to study karst areas that have typically being rich of water, such as the Alpine regions. This study aims at characterizing the groundwater system of the "Pale di San Martino", a mountain range located in the Italian eastern Alps, using a multitracing approach. In mountain and karsifed aquifers conventional hydrogeological methods often fail because of the highly unpredictable network of flow paths. Furthermore, accessibility issues during the winter months and the lack of observation wells or meteorological stations at high altitude, complicate the monitoring activities. In this framework, springs become an irreplaceable and indirect source of information on the groundwater flow because they integrate the signal of geological and hydrological processes over large spatial areas (Manga, 2001). Therefore, this study focuses on spring and it combines data deriving from existing databases with new field activities, which are still in progress. The field work started in July 2014 and it consisted in the following topics:

- General assessment of regional geology and hydrogeology including the identification of the springs locaion on the field;
- In situ measurements of several physico-chemical parameters of the spring water (Ph, Ec, ORP, Temperature);
- Seasonal spring sampling for geochemical and stable isotopes analyses and monthly rainfall sampling;
- Progressive discharge measurements along the main streambeds to estimate the total volume of groundwater discharging from the massif and to identify linear springs;
- A water tracing test with fluorescent dye performed on August 2015 (another test is planned for spring 2016).

Groundwater hydrogeological and hydrogeochemical data were used to quantify and trace water fluxes. In addition, stable isotope tracer methods and fluorescent dye test enabled the refinement of the conceptual model of the groundwater flow and provided indirect information

about flow direction and velocity. All the data were combined in order to understand groundwater flow mechanisms and to constrain flow paths in the karst and fracture-controlled groundwater system.

References

Ford, D., And Williams, P.W. (1989): Karst geomorphology and hydrology, London, Unwin Hyman, 601 p.

Manga, M. (2001): Using springs to understand groundwater flow and active geologic processes, Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, vol. 29, 203-230.

2 Aquifer systems in Europe and beyond

Vorträge

O 2.1: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 14:15-14:30

The Hydrogeology of the "Upper Mega-Aquifer-System" on the Arabian Peninsula

Randolf Rausch[1]

[1] *Hydrogeologie, Technische Universitaet Darmstadt*
Kontakt: randolf_rausch@yahoo.de

Lecturer invited by German IAH Chapter

Fig. 1: Upper Mega-Aquifer-System

With an extent of about 1,860,000 km^2 the „Upper Mega-Aquifer-System" on the Arabian Peninsula forms one of the largest aquifer systems of the world. It is built up by several bedrock aquifers (sandstone and karstified limestone aquifers), which are imperfect hydraulically connected to each other. The principal aquifers are the Wasia-Biyadh sandstone aquifer and the Umm Er Radhuma and Dammam limestone aquifers. The stored groundwater is mainly fossil. Groundwater recharge took place in the geologic past under more humid and cooler climatic conditions. Due to the good water quality and high yield the aquifers are intensively exploited, which leads to depletion of the groundwater resources. The presented qualitative and

quantitative description of hydrogeology and water budget is the basis for an integrated groundwater management of the aquifer-system.

O 2.2: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 14:30-14:45

From research to implementation: IWRM for an urbanized area in Jordan

Jochen Klinger[1], Paulina Alfaro[1], Felix Grimmeisen[1], Julian Xanke[1], David Riepl[2], Ali Subah[3], Nico Goldscheider[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, Abteilung Hydrogeologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

[2] *Disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe*

[3] *Ministry of Water and Irrigation, Amman, Jordan*

Kontakt: jochen.klinger@kit.edu

In many regions of the world water supply of clean drinking water is not ensured. Often it is not due to the absence of sufficient water, but more because of a mismanagement of the available water resources. The water community came to the conclusion that a holistic water management approach is a promising concept to tackle these critical issues. In this respect the term of Integrated Water Resources Management (IWRM) was defined in the early nineties by the Dublin principles (Biswas et al., 2009). Within the frame of the funding priority IWRM the German Federal Ministry of Research and Education (BMBF) sponsors a project for a Sustainable Management of Available Water Resources with Innovative Technologies (SMART) in the Lower Jordan Valley involving partners from Germany, Israel, Jordan and the Palestinian Territories. In SMART all water resources are taken into account including so far not used resources like treated wastewater, artificially recharged groundwater and desalinated brackish groundwater.

During the first two project phases (2006-2014) a hydrogeological and institutional system characterization was performed (Wolf & Hötzl, 2011). Furthermore adapted water treatment technologies and integrated water management concepts were demonstrated on catchment scale on both sides of the Jordan River (Klinger et al. 2015). Within the third phase (2015-2018) the investigations concentrate on water management relevant clusters. The contribution at hand focusses hereby on the technical implementation of spring water monitoring systems and a managed aquifer recharge site (MAR) into an integrated water management platform in an urbanized area Jordan.

The analysis of time series recorded by a state of art monitoring system at springs in Wadi Shueib revealed a correlation of precipitation, turbidity, specific electrical conductivity and E.coli. These easy to measure and combinable parameters allow a prediction of contamination events before they arrive at the spring. This procedure is currently further developed to an Early Warning System (EWS) which will be directly implemented at the local water supply system.

Based on hydrogeological field investigations, a site for managed aquifer recharge was delineated in the Jordan Valley close to Deir Alla. An alluvial fan consisting of sand and gravel provides a storage capacity for 1 Mio. m³ of water. Based on the hydrogeological model a numerical groundwater flow model is used to define an adapted operation and maintenance model.

Both, the EWS and the MAR site will be introduced into a water management platform called WEAP that covers the catchment cluster. Based on the reference model set-up diverse water management options are developed and evaluated by the use of performance indicators, e. g. environmental water stress. This framework represents a supportive tool for a sustainable urban planning. Even though it is demonstrated at a cluster in Jordan, it is transferable to other arid regions in the world.

References

Biswas, A. K., Tortajada, C., & Izquierdo-Avino, R. (2009): Water management in 2020 and beyond. In A. K. Biswas (Eds.), Water resources development and management Available from http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89346-2

Klinger, J., Goldscheider, N., Hötzl, H. (2015): SMART - IWRM: Integrated Water Resources Management in the Lower Jordan Rift Valley; Project Report 2nd Phase, KIT Scientific Reports 7698, ISBN: 978-3-7315-0393-4, http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000047307

Wolf, L. & Hötzl, H. (2011): IWRM – Integrated Water Research Management at the Lower Jordan Valley, Project Report Phase I, KIT Scientific Publishing, Karlsuhe, ISBN: 978-3-86644712-7

O 2.3: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 14:45-15:00

Hydrogeology of the Ethiopian Rift: The example of Gidabo River Basin

Steffen Birk[1], Abraham Mechal[1], Thomas Wagner[1], Gerfried Winkler[1], Aberra Mogessie[1], Martin Dietzel[2], Albrecht Leis[3], Seifu Kebede[4]

[1] *Institute of Earth Sciences, NAWI Graz, University of Graz, Austria*

[2] *Institute of Applied Geosciences, NAWI Graz, Graz University of Technology, Austria*

[3] *Institute of Water, Energy and Sustainability, Joanneum Research Forschungsgesellschaft, Graz, Austria*

[4] *Department of Earth Sciences, Addis Ababa University, Ethiopia*

Kontakt: steffen.birk@uni-graz.at

The availability of groundwater in the Ethiopian Rift is believed to be high (MacDonald et al., 2001). The complex hydrogeologic setting, however, complicates the development of groundwater resources within this region. Using the example of Gidabo River Basin this work aims at improving the knowledge of the hydrogeology of the Ethiopian Rift. For this purpose, an approach combining hydrogeological as well as hydrogeochemical and isotopic field investigations with hydrological and groundwater modelling is employed.

Gidabo River drains a catchment area of 3302 km^2 extending from the highland through the escarpment to the rift floor, where the river terminates in Lake Abaya. The climate ranges from humid in the highland and escarpment to semi-arid in the rift floor. To characterize the temporal and spatial variability of groundwater recharge the semi-distributed hydrological model

SWAT was calibrated and validated using river discharge records from three gauging stations (Mechal at al., 2015). The results reveal a decrease of the average annual recharge from 410 mm in the highland to 25 mm in the rift floor. The time period from 1998 to 2010 exhibits six years without any recharge in the rift floor, suggesting a threshold of approximately 800 mm annual rainfall needed to exceed the high evapotranspiration within this part of the catchment.

To characterize the hydrogeologic properties and the water budget of the aquifer system a two-dimensional steady-state groundwater flow model was designed using the recharge obtained from the hydrological model as input. The model was calibrated to hydraulic heads measured in 72 wells. A multi-model approach was employed to account for the incomplete knowledge of the aquifer system and the resulting uncertainty in the conceptual model. Several calibrated models differing in the number of transmissivity zones as well as in the implementation of fault zones and rivers were compared using information criteria. Finally, the models were validated using the observed river baseflow. The transmissivity estimates roughly range from 0.01 m^2/s to 0.001 m^2/s within the rift floor, but are found to be lower by approximately one order of magnitude in the highland. Direct recharge provides the majority of inflow to the aquifers within the rift floor, but 35% are contributed by lateral groundwater flow from the escarpment and highland (mountain block recharge).

Hydrochemical and isotope data generally support the finding of a flow connection from the recharge areas in the highland to the aquifers in the rift floor. The deeply circulating groundwater recharged in the highland is found to be mixed with shallow groundwater in the rift floor, particularly near fault zones. The flow pattern within the northern part of the catchment, where flow appears to be diverted and channeled by a series of horst graben structeres, suggests that the faults act as combined conduit-barrier systems.

References

MacDonald, A. M., Calow, R. C., Nicol, A. L., Hope, B., Robins, N. S. (2001): Ethiopia: water security and drought. - British Geological Survey Technical Report WC/01/02.

Mechal, A., Wagner, T., Birk, S. (2015): Recharge variability and sensitivity to climate: The example of Gidabo River Basin, Main Ethiopian Rift. - Journal of Hydrology: Regional Studies. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.09.001

O 2.4: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 15:00-15:15

Development of hydrogeological conceptual models of wetlands in data scarce regions – The Kilombero floodplain, Tanzania and the Namulonge inland valley, Uganda

Sonja Beuel[1], Geofrey Gabiri[2], Christine Stumpp[3], Barbara Reichert[1]

[1] *Steinmann Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn*

[2] *Geographisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn*

[3] *Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz-Zentrum München*

Kontakt: sonja.beuel@uni-bonn.de

The BMBF-funded project "GlobE – wetlands in East Africa" focusses on reconciling future food production in East African wetlands with the concurrent environmental protection of these valuable ecosystems. As agriculture in wetlands strongly depends on water, there is a need to assess their hydrological functioning including interactions with groundwater. This helps to assess the effects of increasing agricultural use on wetland ecosystems.

This study assesses groundwater movement and quality as well as its interaction with other water compartments (stream-, flood-, soil-water, and precipitation) in two different East African wetlands and thus contributes significantly to a sound understanding of their respective hydrological functioning. The two study sites are a lowland floodplain in southern central Tanzania and an inland valley in central Uganda. In order to create a clear overview of the hydrogeological settings of these environments and to understand ongoing flow and mixing processes, summarizing conceptual hydrogeological models were developed. For this purpose, a comprehensive methodological approach combining the evaluation of literature and field data using graphical, statistical and modeling approaches was conducted.

The base of the conceptual models are hydrogeological maps and cross sections, derived from former maps, drilling campaigns and the evaluation of new and historical drilling logs. Hydraulic conductivities were determined by applying and interpreting pumping tests, infiltration tests and grainsize analyses. Groundwater level measurements were also carried out and yielded piezometric maps to determine prevailing groundwater flow directions. Furthermore, sampling campaigns of water from the different compartments were carried out, including measurements of in-situ-parameters and analyses of major ions and trace elements as well as stable water isotopes. Hydrochemical and isotope data were analyzed graphically and statistically. Hydrochemical modeling with PhreeqC was used to quantify flow and mixing processes.

The two study sites differ completely in their hydrogeological settings, but show comparable flow and mixing patterns. Groundwater in the floodplain of Tanzania flows through an unconfined sedimentary aquifer and is well mixed vertically. The inland valley in Uganda is comprised of a confined, layered aquifer system that is artesian in some parts, and shallow and deep groundwaters are clearly separated. Both study sites show interactions between stream water

and groundwater depending on the meteorological conditions. Flood water in Tanzania is mainly derived from stream water, while flood water in Uganda originates from precipitation.

O 2.5: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 15:45-16:00

Coastal aquifers of Java, Indonesia, analyzed regarding their potential for submarine groundwater discharge

Nils Moosdorf[1], Mithra C. Hajati[1], Thomas T. Putranto[2], Doni P. E. Putra[3], Thomas R. Rüde[4]

[1] *Leibniz Center for Tropical Marine Ecology, Bremen, Germany*
[2] *Diponegoro University, Semarang, Indonesia*
[3] *Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia*
[4] *RWTH Aachen University, Aachen, Germany*
Kontakt: nils_sci@moosdorf.de

After several local studies have highlighted the importance of submarine groundwater discharge (SGD) for marine ecosystems, the topic increasingly enters the focus of a broader scientific community. However, a region with very high potential SGD impacts, the tropics, is only weakly represented in the existing literature (Moosdorf et al., 2015). Java, Indonesia, is a hot spot for land ocean nutrient fluxes through rivers (e.g. Seitzinger et al., 2005), which suggests also a high potential for elevated nutrient fluxes through SGD. Nevertheless, only few studies have analyzed SGD from Java at local scale (examples in: Lubis et al., 2011).

Here we present a characterization of aquifers at the coast of Java in order to estimate the amount of groundwater and associated nutrients flowing through them directly into the surrounding sea at a regional scale. Based on the limited data and the concept of coastal catchments, i.e. the stretches of coast between river outlets which drain directly into the sea, we characterize and categorize the aquifers around Java. Their attribution leads to first order estimates about SGD which we show here.

Our analyses will help to test the hypothesis that SGD from Java is relevant for coastal ecosystems around the island and can also help evaluating the global relevance of SGD related matter flux from tropical regions.

References

Lubis, R.F., Bakti, H., Suriadarma, A. (2011): Submarine Groundwater discharge (SGD) in Indonesia. Riset Geologi dan Pertambangan, 21(1): 57-62.

Moosdorf, N., Stieglitz, T., Waska, H., Dürr, H.H., Hartmann, J. (2015): Submarine groundwater discharge from tropical islands: a review. Grundwasser, 20(1): 53-67.

Seitzinger, S.P., Harrison, J.A., Dumont, E., Beusen, A.H.W., Bouwman, A.F. (2005): Sources and delivery of carbon, nitrogen, and phosphorus to the coastal zone: An overview of Global Nutrient Export from Watersheds (NEWS) models and their application. Global Biogeochemical Cycles, 19(4): 11.

O 2.6: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 16:00-16:15

Towards a fundamental Understanding of the Interplay and the Interdependence of Biogeochemistry and Biodiversity in the Subsurface of the Earths critical zone

Kai Uwe Totsche[1], Kirsten Küsel[2], Susan Trumbore[3]

[1] *Lehrstuhl Hydrogeologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena*

[2] *Lehrstuhl Aquatische Mikrobiologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena*

[3] *Direktorin Department of Biogeochemical Processes, Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena*

Kontakt: kai.totsche@uni-jena.de

The Earth's Critical Zone is the thin veneer that spans vegetation, soils, and rock down into aquifers and provides vital services to humanity. Recent interest in understanding the CZ has provided new infrastructure platforms to study this complex interface and discover how it might be impacted by human activities including land use, pollution, and climate change. The newly established collaborative research center AquaDiva uniquely seeks to combine CZ research with detailed investigation of the functional biodiversity of the subsurface components of the CZ, those portions below the rooting zone, and extending into the first aquifers. Key questions about this zone still need to be answered, including: What organisms inhabit it? Where do they derive the energy for their metabolism? To what degree do surface land cover and land management influence the biota and biogeochemical function in the subsurface? And how do extreme events at the surface impact subsurface community structure and function? The newly established Hainich Critical Zone Exploratory in central Germany, installed along a ~6km transect spanning forest, pasture and agricultural land uses in the direction of groundwater movement through limestone parent material, is now available to answer these questions. Initial results indicate fundamental differences in the biota and biogeochemistry of two shallow aquifer assemblages likely related to the land use in their recharge area, and the importance of antecedent conditions on the impact of precipitation events on the flow and chemistry of groundwater. Future research will expand to a similar transect in contrasting parent rock, to evaluate the relative importance of lithology versus surface conditions for the emergent characteristics of the subsurface CZ and the organisms that inhabit it.

References

Herrmann M., Rusznyak A., Akob D. M., Schulze I., Opitz S., Totsche, K. U., Küsel, K. (2015): Large fractions of CO_2-fixing microorganisms in pristine limestone aquifers appear to be involved in the oxidation of reduced sulfur and nitrogen compounds. Applied and Environmental Microbiology. 81(7)

Risse-Buhl U., Herrmann M., Lange P., Akob D.M., Pizani N., Schönborn W., Totsche K.-U., Küsel K. (2013): Phagotrophic protist diversity in the groundwater of a karstic aquifer - morphological and molecular analysis, J. Euk. Microbiol. 60: 467-479.

O 2.7: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 16:15-16:30

Structure, further advancements and fields of application of pan-European GIS layers derived from the „International Hydrogeological Map of Europe 1:1,500,000“

Klaus Duscher[1], Andreas Günther[1], Patrick Clos[1], Uta Philipp[1], Stefan Broda[1], Jörg Reichling[1]

[1] *Fachbereich 2.2 – Informationsgrundlagen Grundwasser und Boden, Bundesanstalt fuer Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)*

Kontakt: Klaus.Duscher@bgr.de

A first version of GIS layers displaying selected themes of the “International Hydrogeological Map of Europe in a scale of 1:1,500,000 (IHME1500)” has been made available for download as shapefile in April 2015. The main feature is the seamless delineation of pan-European groundwater resources characterized by the assignment to six classes of aquifer types, the lithological rock composition and areas of seawater intrusion. Although the aquifer type classification referring to groundwater productivity and major rock types is generalized, the IHME1500 GIS layers provide a consistent overview of the uppermost aquifer systems covering nearly all of Europe. Other approaches of pan-European aquifer mapping, such as the production of a groundwater body layer related to the Water Framework Directive (Duscher 2013), a digital dataset of European groundwater resources (Hollis et al. 2002) as well as a European aquifer typology (Wendland et al. 2008), were prepared only for specific parts of Europe or exhibit substantial X-border inconsistencies. The harmonization of the lithological information included the implementation of a methodology comprising geometric aggregation, translation into a newly developed taxonomic scheme and subsequent rock class grouping. Following this approach, 1065 highly heterogeneous original lithological descriptions across the IHME 1500 map series were aggregated in several hierarchical generalization levels, resulting in 672, 204, 85 and 29 classes. The highest IHME lithology generalization comprises a grouping of the aggregated lithological information into ten rock classes and a ternary classification attributed to consolidated, partly consolidated and unconsolidated geologic materials. The major application of the IHME GIS layers aims at transboundary and continent-wide assessments. However, since IHME lithology provides the only harmonized digital coverage representing spatial distribution and properties of both consolidated and unconsolidated shallow geologic materials currently available, the data is also applied for the spatial evaluation of surficial processes related to the delineation of soil parent materials and landslide susceptibility across Europe at synoptic scales. Besides, a point layer depicting spring locations of the printed IHME1500 was completed. Other elements, such as stratigraphic indications can be additionally digitized. The GIS layers can also serve as a spatial base for a web information system. First requests for use of the GIS layers indicate a wide range of applications, as for instance the implementation into hydrological and hydrogeological models estimating groundwater

demands and spatial data processing with respect to water protection. In summary, the IHME1500 GIS layers constitute a valuable tool for transboundary shallow groundwater and environmental assessment at the (sub-)continental scale. All contributing nations are invited to continuously update the respective hydrogeological database.

References

Duscher K. (2013): Groundwater GIS reference layer – Submission/compilation status and evaluation. EEA/NSV/10/002. – Technical Report, ETC/ICM (European Topic Center on Inland, Coastal, Marine Waters), http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/wise-groundwater#tab-additional-information. Cited 5 May 2015

Hollis J. M., Holman I. P., Burton R. G. O., Willers C. M., Pavelley D. (2002): A digital data set of European water resources at 1:500 000. - Report on behalf of the European Commission and the European Crop Protection Association, http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/groundwater/docs/EUGWFR.pdf. Cited 4 May 2015

Wendland F., Blum A., Coetsiers M., Gorova R., Griffioen J., Grima J., Hinsby K., Kunkel R., Marandi A., Melo T., Panagopoulos A., Pauwels H., Ruisi M., Traversa P., Vermooten J. S. A., Walraevens K. (2008): European aquifer typology – a practical framework for an overview of major groundwater composition at European scale. - Environ Geol (55): 77–85, doi: 10.1007/s00254-007-0966-5

O 2.8: Audimax B, Geb. 30.95, 14.04.2016, 16:30-16:45

The new aquifer reference system BDLISA in France and the representation of karst units: challenges of small-scale mapping

Susanne Schomburgk[1], Delphine Allier, Jean-Jacques Seguin

[1] *Water Devision, BRGM in Frankreich*
Kontakt: s.schomburgk@brgm.fr

The Aquifer Reference System of France (BDLISA) proposes a delineation of its hydrogeological units, including aquifer reservoirs and impervious units, according to local, regional and national scale. Each unit is characterized by a class of permeability, porosity and type of geological formation. The ranking number increases with increasing depth and this enables identification of the vertical position at each point with respect to the other units. Thus, an aquifer in a sedimentary basin can be covered by several dozen other units. The classes enable identification of all carbonate rocks in France and their vertical position: from surface outcrops down to deep carbonates (Figure 1). Each carbonate rock is a potential karst aquifer (World Karst Aquifer Mapping Project). Nevertheless, the absence or differing degrees of karstification demand a classification of these aquifers according to karst indicators. Specialists strive to find approaches that are both adapted and homogeneous on a national scale. Initially, BDLISA was built on a regional scale, with each region employing its own approach depending on data availability: mapping of all surface disorders related to karst (swallets, sinkholes, dolines etc.), karst tracer tests, identification of groundwater catchment areas, borehole analyses, karst springs, wells with very high specific discharge, stream sink, etc. In a later stage, and in order to harmonize the national scale of BDLISA, two approaches were proposed depending on the surface karstification rate: 1) The whole unit is classed as a karst aquifer: four classes

distinguish whether the geological formation can be characterized by a network of underground karst systems or, moreover, a second or third network, all being part of the hydrodynamic system. 2) Karst only constitutes part(s) of the unit: a supplementary layer enables the delineation of areas inside the aquifer unit where the presence of karst is well known. The national cavity database (www.bdcavite.net) provides a non-exhaustive listing of natural karst cavity as well as karst springs and wells with very high specific discharge (BSS). These GIS layers were overlain on the extension of carbonate rocks. This information enabled a better understanding of many karst areas. For approach 1, the complete unit classed as karst aquifer, the mapping reveals 2/3 of the karst at outcrop and 1/3 in the subsurface (25%, corresponding to 545 units at local scale). For approach 2, 108 karst areas have been delineated and linked to their 60 aquifer units. A new 1:1M scale hydrogeological map of France has been published in 2015, based on the information of the BDLISA units. It is designed for hydrogeologists and is a communication and educational tool: the representation of karst aquifers had to be modified in order to allow visibility at this scale by a differentiation of karst aquifer outcrops and deeper karst units, the display of karst springs (World Karst Aquifer Mapping Project) and karst aquifer labels.

O 2.9: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 09:45-10:00

The term "Aquifer Systems" as used in the ILC's Draft Articles on the law of transboundary aquifers – what implication for the resource analysts?

Shaminder Puri[1], Teodora Szocs[2]

[1] *International Association of Hydrogeology*
[2] *Geological and Geophysical Institute of Hungary*
Kontakt: szocs.teodora@mfgi.hu

Lecturer invited by German IAH Chapter

The UN ILC's Draft Articles use the term "aquifer systems" to denote the three dimensional nature of aquifer dynamics. Describing aquifers in this way gives the assurance that both lateral and vertical exchanges of fluids in aquifers are taken account of. International water law, as expressed in the UN 1997 Convention, the UN ECE Convention and the EU WFD, use the term "groundwater" in generic terms, thus potentially losing sight of several key features of aquifers. Is this simply a matter of semantics or does it have greater significance?

The interface between legal negotiations and science based resource analysis is a complicated one. Semantic differences in such wording can have a deep seated impact on the quality of international agreements. Where such agreements relate to regionally large aquifers, with transit times measured in tens of decades, disregarding vertical flows, or the change of storage, will create future economic losses, increase the potential for conflict and the possible collapse of the aquifer system and the ecosystems that rely on it. Even in transboundary aquifers that are

small in dimension, focusing on 'groundwater' but disregarding the 'aquifer system' may be prone to risks that are unacceptable.

Using examples from Central Europe (Mesozoic Transboundary aquifer), the Middle East (Rum-Saq aquifer), the high relevance of 'aquifer systems' vs 'groundwater' will be presented.

O 2.10: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 10:00-10:15

Limits for use of thermal waters in the Benesov-Usti (Bensen-Aussig) aquifer system

Josef V. Datel[1]

[1] *Dpt. of Hydrogeology, Charles Uniersity in Prague, Faculty of Science*
Kontakt: jvdatel@gmail.com

The largest thermal water accumulation known so far in the Czech Republic with temperatures 30-40 degrees centigrade can be found in the aquifer system of the Benesov (Bensen) and Usti nad Labem (Aussig) area of the Bohemian Cretaceous Basin. Exploitation of these thermal waters has thus far been concentrated in the Usti nad Labem and Decin (Tetschen) regions. Thermal waters are used now for recreational purposes (swimming pools and spas) or as a source of thermal energy for heating. A crucial impulse for the formulation of the conceptual model of thermal groundwater flow was new exploratory work in approximately the last 15 years, whose intention was to intensify thermal water resources exploitation.

Before deep boreholes have helped discover the thermal water resources, the whole area of thermal waters known now represented a hydrogeological structure with very slowly flowing, almost stagnating groundwater. Exploiting the resources (from the end of the19. century) has made the groundwater flow significantly faster. Limiting factors for the use of thermal waters consist both in the balance of the amount of water in the structure and also the balance of the amount of heat flowing into the structure. The conceptual model was based on all the available information that could be collected. The collected data were evaluated in three basic areas: definition of hydrogeological bodies (aquifers and aquitards), evaluation of regional groundwater flow, interpretation of data on groundwater quality (chemical composition, temperature).

Some of the main conclusions of the research:

- Based on the flow method the sustainable yields of natural thermal waters in the drainage areas were calculated – 43 $L.s^{-1}$ in the Usti (Aussig) area and 292 $L.s^{-1}$ in the Decin (Tetschen) area.
- Professional closing and liquidation of older boreholes in the drainage areas substantially reduced unregistered losses of hot water, which was favorably reflected in the piezometric conditions in the structure

- The main drainage sites for the whole structure were defined – in addition to the Usti and Decin areas, the Kamenice (Kamnitz river) area in the north and the Litomerice (Leitmeritz) area in the south are important drainage areas.
- 6 geological and hydrogeological cross-sections were constructed across the studied area in order to show a three-dimensional view of groundwater flow
- The warmest water is concentrated in the Decin and Usti areas, and the greatest temperature gradients were also found here, confirming higher heat flow along to the Ohre (Eger) river tectonic structure
- Methodical evaluation of the use of geophysical well-logging methods was performed for evaluating data from new boreholes, for both lithological purposes and for determining hydrogeological data.

Poster

P 2.1

A Time Dependent Mixing Model for Concentration Fluctuations in Heterogeneous Aquifers

Lennart Schüler[1], Nicolae Suciu[2], Peter Knabner[2], Sabine Attinger[1]

[1] *Universität Jena*
[2] *Universität Erlangen-Nürnberg*
Kontakt: lennart.schueler@ufz.de

Geological formations are heterogeneous. Their properties are usually not measurable everywhere but only at some locations. This lack of knowledge implies uncertainty in aquifer parameters like hydraulic conductivity. As a consequence, transport of solutes through these formations is also uncertain and has to be described in a probabilistic sense. Mean and variance estimates of solute concentrations give some information on the probability distribution of concentrations.

We present analytical results for the concentration variance. Going beyond mean and variance estimates, we are able to state the transport equation for the whole probability density distribution (PDF) of the concentration by adopting an approach first introduced in turbulence theory by Colucci et al. (1998). However, we show that both, the variance and the PDF equations have the same closure problem. This link is used to propose and test an alternative closure strategy for the variance equation adopted to the special problems in groundwater transport. This new closure model is transfered to the PDF formulation.

One prominent result is the new time dependent dissipation model which takes the mixing length scales into account. This new model greatly improves the concentration variance prediction at

early times. The transfer of the new model to the PDF description is also successful. Former attempts failed in reproducing the correct dissipation results which is now possible.

We also propose to make use of spatial filtering and filtered density functions (FDF). The FDF evolution equations are similar in form with those of probability density functions, but their solutions are still random and depend on the width of the spatial filter. The use of FDFs drastically reduces computational costs without the loss of accuracy.

References

Colucci, P. J. & Jaberi, F. A. & Givi, P. & Pope, S. B. (1998): Filtered density function for large eddy simulation of turbulent reacting flows – In: Phys. Fluids 10, 499-515

P 2.2

Hydrogeological assessment of a managed aquifer recharge site at the Wala reservoir, Jordan

Julian Xanke[1], Jochen Klinger[1], Tanja Liesch[1], Nadine Göppert[1], Ali Sawarieh[2], Nico Goldscheider[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie*
[2] *Ministry of Energy and Mineral Resources, Jordan*
Kontakt: julian.xanke@kit.edu

Jordan is facing a major challenge in terms of a continuous water supply of its rapidly growing population along with a sustainable use of its surface and groundwater resources. The increasing water demand has led to falling groundwater levels in most of the regional aquifers and to a deterioration of their water quality. This situation is exacerbated by the prevailing semi-arid climate, which led to a strong variability in water availability, observable in short but strong rainfall events in the winter and long-lasting aridity during summer. The largest proportion of rainfall evaporates and or leads to occasional surface runoff generation and only a small fraction contributes to natural groundwater recharge by infiltration. For the utilization of the unused surface runoff, numerous dams were built in the past decades in the side wadis of the Jordan Valley, among which the Wala reservoir is the only managed aquifer recharge (MAR) site. Since 2002, the Wala reservoir stored flood water in the winter seasons and recharged it to the karst aquifer below. This helped rising the groundwater levels and supplied water to the Hidan wellfield 7 km further downstream. However, due to aquifer heterogeneity and the karst typical flow behavior of fast flow and slow depletion, the hydraulic behavior is mostly unknown and therefore aggravates the reservoir and wellfield management. This study presents the evaluation and assessment of the reservoir sedimentation processes and its impact on the water balance, as well as the impact of surface infiltration on the chemical and isotopic composition of the groundwater from 2002 to 2012. Since the reservoir was constructed, around 85.0 million cubic meters (MCM) water were stored, whereof around 74.1 MCM infiltrated and 7.8 MCM evaporated until 2012. Sedimentation in the reservoir was investigated and showed a

reduction of the storage capacity by about 1.6 MCM by silt and clay, which caused also a decrease in infiltration (Xanke et al., 2015). The impact of the surface water infiltration on groundwater was detected by using Tritium data and the mean residence times of groundwater, calculated with the ^{14}C-method. These results were used to develop a hydrogeological conceptual groundwater flow model which contributes to a better understanding of the prevailing hydraulic conditions. This can serve as a basis for further studies of the Wala reservoir and the Hidan wellfield.

References

Xanke, J., Goeppert, N., Sawarieh, A., Liesch, T., Kinger, J., Ali, W., Hötzl, H., Hadidi, K., Goldscheider, N. (2015): Impact of managed aquifer recharge on the chemical and isotopic composition of a karst aquifer, Wala reservoir, Jordan. In: Hydrogeol Journal, S. 1-14. DOI: 10.1007/s10040-015-1233-6.

P 2.3

Räumliche Erkundung von Grundwasserstockwerken in komplexen Strukturen am Fallbeispiel eines tiefen Kalahari Aquifers in der Zambezi Region (NE Namibia)

Roland Bäumle[1], Thomas Himmelsbach[1]

[1] *FB Grundwasserressourcen, BGR*
Kontakt: r.baeumle@bgr.de

In vielen Ländern bilden Grundwasservorkommen in größerer Teufe potentielle neue Ressourcen für die Versorgung einer schnell wachsenden Bevölkerung mit Trink- und Brauchwasser für Land- und Viehwirtschaft. Tiefe Grundwasservorkommen sind in der Regel nur unzureichend erschlossen, und ihre Erkundung einzig mittels Bohrungen ist teuer und ineffizient. Übergeordnetes Ziel der vorgestellten Untersuchungen ist es daher, die Exploration auf Grundwasserstockwerke methodisch zu verbessern und exemplarisch eine Erkundungsstrategie für tiefe Grundwasservorkommen zu entwickeln, wie das in der Erdöl- und Gasexploration gängige Praxis ist.

In der Zambezi Region (vormals Caprivi-Region) im äußersten Nordosten Namibias konnte zu Beginn des Jahrtausends mit Explorationsbohrungen und geophysikalischen Erkundungsmethoden die Existenz eines tiefen, vermutlich semi-fossilen Grundwasserleiters innerhalb der Kalahari-Überdeckung (Lower Kalahari Aquifer, LKA) nachgewiesen werden (Margane et al. 2005). Im Rahmen der damaligen Erkundungen konnte jedoch nicht geklärt werden, inwieweit der untere Aquifer rezent neugebildet wird. Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich des südwestlichen Armes des ostafrikanischen Grabenbruch-Systems. Das Gewässernetz und die Hydrogeologie dieses Gebietes werden deshalb wesentlich durch großräumige tektonische Prozesse kontrolliert (Moore et al. 2012). Um die Entstehung und Neubildungsprozesse des Grundwassersystems zu erkunden, ist es daher entscheidend, die Maßstabsebene der Untersuchungen über das eigentliche Verbreitungsgebiet des Aquifers auszudehnen, und dabei die

strukturgeologischen Prozesse, die sedimentologische Entstehungsgeschichte und die wechselnden paläoklimatischen Verhältnisse mit in die Analyse einzubeziehen. Konkret werden bestehende Erkenntnisse aus früheren und aktuellen hydrogeologischen, geochemischen und hydro-isotopischen Untersuchungen sowie geophysikalischen Messungen unterschiedlicher räumlicher Auflösung und Sensitivität zusammengefasst. Durch die Verbindung verschiedener geowissenschaftlicher Ansätze soll die Exploration auf Grundwasserstockwerke methodisch verbessert und eine Strategie zur effizienten Erkundung und Nutzung tieferer Grundwasservorkommen entwickelt werden.

Literatur

Margane, A., Bäumle, R., Schildknecht, F., Wierenga, A. (2005): Groundwater Investigations in the Eastern Caprivi Region: Main Hydrogeological Report: Department of Water Affairs (DWA), Namibia & Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Germany.

Moore, A. E., Cotteril, F. P. D., Eckhardt, F. D. (2012): The evolution and ages of Makgadikgadi palaeo-lakes: Consilient evidence from Kalahari drainage evolution south-central Africa South African Journal of Geology, v. 115, no. 3, p. 385-413.

P 2.4

Bestimmung schneller Grundwasserneubildungsprozesse und quantitativer Quell-Vulnerabilität für Karbonatgrundwasserleiter im semi-ariden östlichen Mittelmeerraum

Sebastian Schmidt[1], Fabian Ries[2], Joanna Doummar[3], Martin Sauter[1]

[1] *Angewandte Geologie, Georg-August-Universität Göttingen*
[2] *Prof. für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*
[3] *Department of Geology, American University of Beirut*
Kontakt: Sebastian.Schmidt@geo.uni-goettingen.de

Verkarstete Karbonatgrundwasserleiter stellen weltweit, ganz besonders aber im Mittelmeerraum, bedeutende Trinkwasserressourcen dar. Die Grundwasserneubildungsprozesse, welche einen großen Einfluss auf das Grundwasserdargebot, das Management sowie die Verschmutzungsempfindlichkeit dieser Aquifere besitzen, sind jedoch schwierig zu erfassen und zu quantifizieren.

In dieser Untersuchung werden die Infiltrations- und Neubildungsprozesse (z.B. flächenhaft vs. punktförmig) sowie die Vulnerabilität der zur Trinkwasserversorgung genutzten Karstquellen durch die Auswertung von hochauflösenden Zeitreihen bestimmt. Die Vulnerabilität soll hierbei über Parameter der schnellen Fließkomponente quantitativ erfasst werden. Dazu wurden an vier wasserwirtschaftlich bedeutenden Quellen im Unteren Jordantal in der Nähe von Jericho (Westjordanland) kontinuierliche Monitoringsysteme installiert und z.B. Schüttung, elektrische Leitfähigkeit, Chloridkonzentration und Trübe sowie meteorologische Parameter und Oberflächenabflussereignisse im Neubildungsgebiet erfasst. Der Untersuchungszeitraum

umfasst fünf Jahre, welche durch verschiedene hydrometeorologische Rahmenbedingungen charakterisiert sind. Die Daten ermöglichen:

(1) Einblicke in die hydrogeologischen Eigenschaften des Fließsystems, wie Karströhrengeometrie und Volumen des Karströhrensystems,

(2) Die Quantifizierung der schnellen Fließkomponente und assoziierter Vulnerabilitätsparameter der Quellen: (i) Die mittlere Verweilzeit des schnellen Ereignisabflusses beträgt 1–17 Tage und liegt daher deutlich unter dem 50-Tage-Kriterium, (ii) eine kurze Zeitdifferenz der Transportreaktion bei Niederschlagsereignissen (1–6 Tage für die untersuchten Quellen) wird als problematisch beurteilt, während (iii) eine kurze Dauer des (potentiell verschmutzten) Ereigniswasserdurchbruchs (Spanne ca. 3–40 Tage) als vorteilhaft angesehen wird, da die problematischen Stoffe rasch wieder aus dem System ausgetragen werden,

(3) Die qualitative Bestimmung der schnellen Neubildungsprozesse: (i) Eine flächenhafte Infiltration in die Bodenzone, eine nachfolgende Fokussierung des Perkolationsflusses im Boden/Epikarst und eine schnelle Perkolation des Wassers durch die oft mächtige Vadose Zone entlang präferentieller Fließwege werden im untersuchten Karstgrundwasserleiter als wichtige Prozesse angesehen, während (ii) eine punktuelle/linienhafte Infiltration von episodisch stattfindendem Oberflächenabfluss in den Wadis in Ponorzonen allenfalls eine untergeordnete Bedeutung besitzt.

Die Untersuchung legt nahe, dass durch flächenhaft verbreitete schnelle Neubildungsmechanismen eine potentielle Kontamination von einer Vielzahl von Stellen im Einzugsgebiet schnell bis zu den Quellen durchbrechen kann. Im Fall kleinerer Quellgrundwasserleiter ist die verfügbare Vorwarnzeit gering, jedoch aufgrund geringer ausgeprägter Dispersionseffekte die zu erwartende Dauer des Kontaminationsereignisses auch deutlich kürzer.

P 2.6

Die Regionale Hydrogeologie von Deutschland – Ein Gemeinschaftswerk von 16 Geologischen Landesdiensten

Thomas Walter[1], Bernhard Wagner[2]

[1] *Ministerium für Umwelt, Saarbrückenund Verbraucherschutz*
[2] *Landesamt für Umweltschutz, Hof*
Kontakt: t.walter@umwelt.saarland.de

Im Laufe der Beschäftigung der Staatlichen Geologischen Dienste mit der EG-Wasser-Rahmenrichtlinie und der gemeinsamen Erarbeitung der HÜK200, der hydrogeologischen Raumaufteilung Deutschlands in 10 Hydrogeologische Großräume, 36 hydrogeologische Räume und 247 hydrogeologische Teilräume und der darauf aufbauenden Beschreibung der Grundwasserkörper entstand bald der Gedanke, dass diese Fülle der zusammengestellten

Informationen auch als Grundlage für eine regionale Beschreibung der deutschen Hydrogeologie (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie, 2015) genutzt werden könnte.

Durch ein Redaktionsteam wurden zunächst alle Beschreibungen der Teilräume von mehr als 50 Einzelautoren zusammengestellt und mehrfach auf gemeinsame Inhalte und Darstellungsform geprüft, angepasst und ergänzt. Dazu wurden die Informationen zu Gesteinsart, Hohlraumart, Verfestigung, hydraulischer Durchlässigkeit und geochemischem Gesteinstyp der regional jeweils wichtigsten Grundwasserleiter zusammengetragen und homogenisiert. Der Stockwerkbau (Lithologie, Mächtigkeiten und Abfolge) der hydrogeologischen Einheiten wird beschrieben, ebenso wie Ergiebigkeiten und die Grundwasserdynamik mit Flurabständen, Vorflutverhältnissen und Potenzialverhältnissen im Grundwasser. Die einzelnen Kapitel werden durch die Beurteilung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung und der Beschreibung der wasserwirtschaftlichen Bedeutung des jeweiligen Teilraumes abgeschlossen. Die Teilraumbeschreibungen sind den jeweiligen Großräumen und Räumen zugeordnet, so dass zu diesen jeweils einführende Beschreibungen der jeweiligen Charakteristika den Teilraumbeschreibungen vorangestellt sind.

Das Werk gibt damit einen bundesweiten Überblick über den aktuellen Stand des Wissens zur regionalen Hydrogeologie aller 16 Bundesländer. Eine Übersichtskarte, 36 Detailkarten, zahlreiche hydrogeologische und geologische Schnitte und weit über 100 Farbfotos vermitteln die Bandbreite der Hydrogeologie Deutschlands. Ein Glossar mit Erklärungen der verwendeten Fachbegriffe soll auch dem interessierten Laien den Zugang zu dem Werk erleichtern.

Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie (2015): Regionale Hydrogeologie von Deutschland, Geologisches Jahrbuch Reihe A, Band A 163, . 452 Seiten, 264 Abbildungen.

P 2.7

Treatment of Seepage Water from a Tailings Pond of Uranium Mining: Column tests with a novel Schwertmannite-Adsorbent

Diana Burghardt[1], Johannes Richter[1], Elisabeth Simon[1], Susann Reichel[2], Eberhard Janneck[2], Jan Laubrich[3]

[1] *Institute for Groundwater Management, TU Dresden, Germany*
[2] *G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, Germany*
[3] *Wismut GmbH, Chemnitz, Germany*
Kontakt: diana.burghardt@tu-dresden.de

An agglomerated, filter stable adsorbent was developed based on biotechnologically synthesized schwertmannite (SHM) from iron and sulfate containing lignite mine water. The adsorbent SHM-sorpP' was obtained by compacting SHM in a briquette press. As investigated by

(Fukushi et al. 2003) and (Peiffer et al. 2012), SHM and SHM-based adsorbents offer excellent adsorption properties towards arsenic, respectively.

SHM-sorpP was tested in comparison to the commercially available iron hydroxide adsorbents Ferrosorp®Plus (HeGoBiotec GmbH) and GEH®104 (GEH Wasserchemie & Co KG) to its suitability for the treatment of mine water at the example of seepage water from an uranium tailings pond in column tests (58–148 g adsorbent, filter bed volume 0.078 -0.101 l, flow rate 7.9 – 8.1 l/d) for 177 days. The seepage water was characterized by high pH (8.8–9.0) and significant concentrations of arsenic, molybdenum, phosphate, uranium, carbonate and radium-226. For the tests, an active pretreatment of the seepage water was realized by decreasing its pH to 7 (pH-7-seepage water scenario) and pH 5 (pH-5-seepage water scenario) with a dosage of hydrochloric acid (33%), respectively.

The results of the scenario with pH-7-seepage water (three columns with each of the three adsorbents) showed, that neither uranium nor molybdenum could be adsorbed by Ferrosorp®Plus, GEH®104 and SHM-sorpP. In contrast, all products were able to immobilize more or less arsenic and phosphate and SHM-sorpP offers the most efficient adsorption. In the scenario with pH-5-seepage water (columns with SHM-sorpP or Ferrosorp®Plus), 60 to 80 % of the uranium could be immobilized via precipitation (probably uranyl carbonate) in the inlet tank and in the first part of the flow paths of both adsorbent columns. SHM-sorpP again offered the better performance in the tests: in comparison to Ferrosorp®Plus, about 30% more arsenic and phosphate as well as 100% more molybdenum could be adsorbed.

References

Fukushi, K., Sato, T., Yanase, N. (2003): Solid-solution reactions in As(V) sorption by schwertmannite, Environmental Science and Technology 36, 3511-3516

Peiffer, S. Burghardt, D., Simon, E., Rostan, M., Janneck, E., Fischer, H., Patzig, A., Lambrecht, J., Schlömann, M., Wiaceck, C., Kipry, J., Mosler, S. (2012): Fertigstellung von Verfahren zur biotechnologischen Schwertmannit-Synthese und zur passiven Wasseraufbereitung durch Herstellung eines Schwertmannit-Agglomerates. BMBF-Abschlussbericht, FKZ 03G0821, TIB Hannover

P 2.8

Erfassung aller Quellen in Westfalen (NRW)

Patricia Göbel[1], Johannes Meßer[2]

[1] *Angewandte Geologie, Uni Münster*

[2] *Emscher und Lippe Wassertechnik GmbH, Abteilung Wasserwirtschaft, Brunnenstraße 37, 45128 Essen*

Kontakt: pgoebel@uni-muenster.de

Quellen sind die auffälligsten Erscheinungsformen des Grundwassers. Im Rahmen von topographischen Vermessungs- und geologischen Kartierarbeiten wurden und werden die als „Quelle“ bezeichneten Orte – gekennzeichnet durch spezielle Symbole – in den unterschiedlichen Kartenwerken mit aufgenommen und verzeichnet. Ausgewählte Quellorte befinden sich

ebenfalls in unterschiedlichen Datenbank- und Fachinformationssystemen. Das Problem besteht allerdings darin, dass die verschiedenen Fachgebiete „Quellen“ unterschiedlich definieren. Insofern existierte bisher kein einheitlicher Überblick über die Lage und Anzahl der Quellen in Westfalen.

Zur Erstellung einer Quellenübersichtskarte von Westfalen wurden zunächst folgende verfügbare Daten bei den Umwelt- und Vermessungsfachbehörden recherchiert. Diese Daten wurden mit eigenen Erkenntnissen aus ausgewählten Quellkartierungen auf Vollständigkeit überprüft bzw. ergänzt. Angaben zu Quellen in der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks wurden ausgewertet und auch beispielhaft Angaben aus der Geologischen Karte des Geologischen Dienstes NRW berücksichtigt. Da Quellen z.T. redundant in den Daten vorhanden waren, mussten Dopplungen eliminiert und ein sinnvoller Datenbestand erzeugt werden, ohne Informationen aus den einzelnen Datensätzen zu verlieren. Dabei wurden die Daten in Abhängigkeit von ihrer Datenqualität abgestuft eingearbeitet.

Der daraus resultierende Gesamtbestand in der Datenbank umfasst für Westfalen 12.051 Quellen. Aus dem Detailabgleich des recherchierten Datensatzes mit den in den ausgewählten Kartiergebieten ermittelten Quellen kann ein Bestand von 25.000 bis 30.000 Quellen für Westfalen abgeschätzt werden. Die tatsächliche Anzahl der Quellen ist jedoch auch von der Definition abhängig. Auf der einen Seite muss nicht jeder Gewässeranfang, von denen es nach Auswertung des oben genannten ATKIS-Datensatzes in Westfalen allein 6.900 gibt, auch eine Quelle sein; auf der anderen Seite werden häufig temporäre Quellen bei Kartierungen bzw. Bestandsaufnahmen übersehen. Auch die Aktualität der Daten spielt hier eine Rolle. Durch anthropogene Einflüsse, von der Überbauung von Quellen bis hin zur nachteiligen Veränderung des Wasserhaushaltes bzw. der Grundwasserneubildung, kann sich der Quellenbestand über die Zeit deutlich verändern.

Weitere Auswertungen wurden hinsichtlich der Quellenverteilung, Quellenanzahl und Quellendichte, bezogen auf unterschiedliche Kreisgebiete und Grundwasserkörper, durchgeführt. Ausgewählte Quellregionen werden detailliert dargestellt und in ihrer historischen Entwicklung beschrieben.

Literatur

Göbel, P. & Meßer, J. (2014): Quellen in Westfalen. – Landschaftsverband Westfalen-Lippe, Geographische Kommission für Westflane [Hrsg.]: Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen, Themenbereich II Landesnatur, Doppelblatt + Begleittext, 17. Lfg.; Münster. – [ISBN 978-3-402-14110-6]

P 2.9

Promoting groundwater awareness through early career hydrogeologists – Securing the future groundwater generation

Judith Flügge[1], Viviana Re[2], Matthys A. Dippenaar[3], Carlos Maldaner[4], Gillian Hurding[5]

[1] *Early Career Hydrogeologists' Network (ECHN) of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Germany*
[2] *ECHN (IAH), Italy*
[3] *ECHN (IAH), South Africa*
[4] *ECHN (IAH), Brazil*
[5] *ECHN (IAH), UK*
Kontakt: judith.fluegge@grs.de

An educated awareness of groundwater issues is crucial in ensuring the sustainable use of world-wide groundwater resources. The mission of the International Association of Hydrogeologists (IAH) is to further the understanding, wise use and protection of groundwater resources throughout the world. Hydrogeologists need to be advocates for groundwater to advance its literacy across scientific and more general communities and especially amongst decision makers.

With rapid expansion in online data sharing and social networks, early career hydrogeologists have entered their discipline with much easier access to information, as well as international colleagues, than was ever experienced by more senior generations. However, these online sources of information are not necessarily reliable and trustworthy, considering the ephemerality and the low traceability of information in the web 2.0. Current hydrogeologists are therefore challenged with making use of these online platforms for their benefits, such as the free and instantaneous sharing of copious amounts of data, whilst avoiding pitfalls stemming from reliance of questionable data. In this respect, early career hydrogeologists (ECH) must be encouraged as informed providers of awareness and appreciation of the value of groundwater both within and outside of traditional fields to ensure that future water decisions are based on hydrological reality. To be able to do so, they must be involved in decision making processes as early as possible to build their vocational experience. Guidance from leading experts in the early stages of a hydrogeologist's professional careers, is also vital so that (i) they become prepared to be the future leaders in hydrogeology, (ii) their decision making is based on well-grounded technical and management aspects of water resources, and (iii) the loss of competence and knowledge associated with the retirement of well-experienced experts is mitigated.

The Early Career Hydrogeologists' Network (ECHN) of IAH aims to support hydrogeologists at the start of their professional careers and to promote their involvement in IAH affairs from the outset. Three of the main goals of ECHN are (i) to enhance the information sharing possibilities for early career hydrogeologists, (ii) to provide a support network for members to

discuss and develop ideas or schemes and career opportunities, and (iii) to enhance the social and professional network of the early career hydrogeologists.

This presentation will start with an overview on the objectives and aims of the ECHN and then give a summary on its past and present activities in promoting groundwater awareness through early career hydrogeologists. Any input from the audience on how to pursue the objectives and to secure the future groundwater generation is more than welcome.

P 2.10

Assessment of land subsidence mechanisms triggered by dolomitic marble dissolution from hydrogeochemistry and stable isotopes of spring waters

Johannes Barth[1], Rohana Chandrajith[2], H.A.H. Jayasena[2], Robert van Geldern[1]

[1] *Lehrstuhl für Angewandte Geologie / GeoZentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg*

[2] *University of Peradeniya, Department of Geology, Peradeniya, Sri Lanka*

Kontakt: johannes.barth@fau.de

Springs draining a small humid tropical watershed composed of geologically dolomitic marbles in Central Sri Lanka were investigated for their major ion chemistry, water stable isotope composition ($\delta^{18}O$ and $\delta^{2}H$) and the carbon isotope composition of dissolved inorganic carbon ($\delta^{13}C_{DIC}$). Dissolved Ca^{2+} and Mg^{2+} were the dominant cations and were balanced largely by bicarbonate. All collected spring water samples scattered around the local meteoric water line with values from -31.9 ‰ to -46.8 ‰ for $\delta^{2}H$ and from -5.5‰ to -7.4‰ ford $\delta^{18}O$ against VSMOW. This indicates local groundwater recharge pathways by regional precipitation rather than water from deeper aquifer systems. Concentrations of dissolved inorganic carbon (DIC) ranged from 0.91 to 9.38 mM/L and $\delta^{13}C_{DIC}$ ranged from -22 ‰ to -14 ‰ against the international Vienna Pee Dee Belemnite Standard (VPDB) with an average of -16 ‰. Our interpretation is that spring waters from carbonate rocks had increased DIC and $\delta^{13}C_{DIC}$ along with elevated pH values. Combined $\delta^{13}C_{DIC}$ and Ca^{2+} and Mg^{2+} contents suggest that groundwater evolution was dominated by dissolution of usually difficult to weather dolomitic marble. This unexpected weathering process was favoured by intense rain and high ambient temperatures contributed to excessive CO_2 production in tropical soils. This weathering resulted in karst structures with high hydraulic conductivities that rendered the terrain tectonically less stable.

References

Chandrajith, R., Jayasena, H.A.H., van Geldern, R. and Barth, J.A.C. (2015): Assessment of land subsidence mechanisms triggered by dolomitic marble dissolution from hydrogeochemistry and stable isotopes of spring waters. Applied Geochemistry, 97-105. doi: 10.1016/j.apgeochem.2015.03.020

3 Bauen und Grundwasser

Vorträge

O 3.1: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 10:15-10:30

Anforderungen an die geohydraulische Begutachtung bei der Erstellung von Bauwerken in Bundeswasserstraßen

Bernhard Odenwald[1]

[1] *Abteilung Geotechnik, Referat Grundwasser, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)*
Kontakt: bernhard.odenwald@baw.de

Bauwerke in Bundeswasserstraßen werden nahezu immer in einem vom Grundwasser durchströmten Baugrund erstellt. Dabei sind zum einen zumeist die Auswirkungen des Bauwerks und der zugehörigen Baumaßnahmen auf das Schutzgut Grundwasser im Rahmen von Planfeststellungsverfahren und Umweltverträglichkeitsuntersuchungen zu beurteilen. Zu anderen ist aber auch eine geohydraulische Begutachtung erforderlich, die insbesondere die Ermittlung der maßgebenden Einwirkungen aus dem Grundwasser auf das Bauwerk und die Baumaßnahmen sowie geeigneter Maßnahmen zur Beeinflussung dieser Einwirkungen umfasst. Die maßgebenden Einwirkungen aus dem Grundwasser sind auf Grundlage der europäischen Normen für das Bauwesen (Eurocodes) und der ergänzenden Regelungen in den zugehörigen deutschen Normen festzulegen. Danach sind zur Bestimmung der aus dem Grundwasser auf die Bauwerke und Baubehelfe einwirkenden Kräfte insbesondere obere und untere charakteristische Grundwasserstände für definierte Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeiten für alle in Betracht kommenden Bau- und Betriebszustände (Bemessungssituationen) festzulegen. Dies erfordert eine hydrogeologische Erkundung, die Auswertung möglichst langjähriger Grundwassermessdaten und eine hydrogeologische Modellierung zur Prognose der Grundwasserverhältnisse bei unterschiedlichen hydrogeologischen Randbedingungen. Dies betrifft z. B. auch die Ermittlung einer erforderlichen Grundwasserabsenkung zur Durchführung der Baumaßnahmen oder die Beurteilung der Auswirkungen von planmäßigen oder außerplanmäßigen Zuflüssen aus der Wasserstraße auf die Grundwasserverhältnisse und damit auf die Grundwasserbeanspruchung der Bauwerke und Baubehelfe. Die für die geohydraulische Begutachtung erforderlichen einzelnen Arbeitsschritte werden anhand von aktuellen Baumaßnahmen an Bundeswasserstraßen erläutert.

O 3.2: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 10:30-10:45

Quantitative Hydrogeologie am Beispiel der Bauwasserhaltung zur Sanierung der Kesslergrube/Südbaden

Adalbert Huss[1], Thomas Osberghaus[1]

[1] *HPC AG*
Kontakt: Adalbert.Huss@hpc.ag

Die Roche Pharma AG saniert im Zeitraum 2015 bis 2020 die Altlast „Kesslergrube“ in Grenzach-Wyhlen/Südbaden. Das Projektbudget für den Bodenaushub einschließlich des erforderlichen Baugrubenverbaus sowie einer Grundwasserhaltung liegt bei mehr als 200 Mio. €. Zur technischen und finanziellen Projektplanung waren realistische Prognosen der Wassermengen notwendig. Darüber hinaus sollten für das Risikobudget auch quantitative Informationen zur Prognoseunsicherheit in einem verkarsteten Aquifer vorgelegt werden.

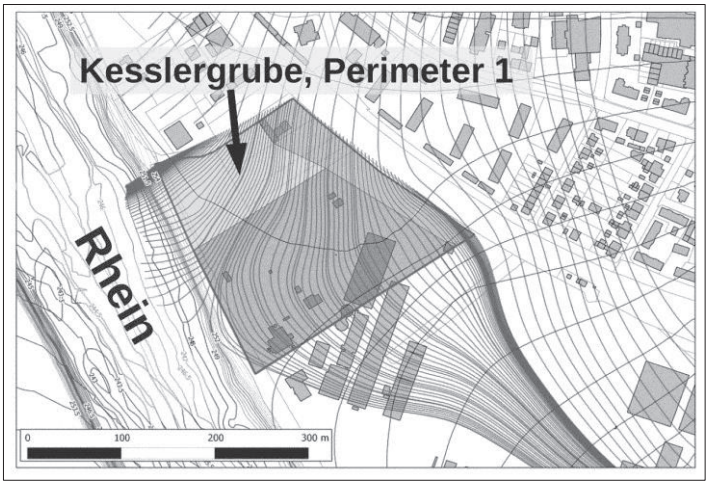


Abb. 1: Kesslergrube am Ufer des Rheins

Auf kaum einem Gebiet prallen Anspruch und Realität unvereinbarer aufeinander als bei der Dimensionierung von Bauwasserhaltungen. Die durch hydrogeologische Untersuchungen erreichbare Genauigkeit erfüllt i. d. R. nicht die Ansprüche der Planung, Auslegung und Ausschreibung einer großen Bauwasserhaltung. Umso wichtiger ist die Vermittlung von nachvollziehbar quantifizierten Risiken bei der Abschätzung des Wasserandrangs in die Baugrube. Erst die Quantifizierung von Eintrittswahrscheinlichkeiten für ein bestimmtes Ereignis macht die damit verbundenen Risiken vergleichbar, vorstellbar und wirtschaftlich greifbar.

Die hydrogeologisch besondere Situation bei der vorgesehenen Sanierung der Kesslergrube in unmittelbarer Nachbarschaft zum Rhein innerhalb eines sehr gut durchlässigen Aquifers über

einer klüftigen und teilweise verkarsteten Festgesteinssohle erforderte einen diesbezüglich erweiterten Verfahrensansatz. Das Ziel bestand nicht alleine darin, auf der Grundlage einiger punktueller Untersuchungen eine Abschätzung der zu erwartenden hydraulischen Auswirkungen vorzunehmen, sondern diese Abschätzung mit einer Aussage zur Eintrittswahrscheinlichkeit zu verbinden.

Damit bot sich die Möglichkeit, den konventionellen hydrogeologischen Untersuchungsansatz mit der grundlegenden Forderung einer quantitativen Wissenschaft zu verbinden. Demnach ist die Angabe einer Quantität ohne gleichzeitige Abschätzung der damit verbundenen Unsicherheit ohne Wert. Mit diesem Ansatz wird nicht nur die Vorgehensweise in einem spezifischen Sanierungsfall beschrieben, sondern eine grundsätzlich bislang wenig praktizierte, aber mittelfristig unumgängliche Orientierung in der quantitativen Hydrogeologie.

Der Fachbeitrag beschreibt eine Vorgehensweise, bei welcher lithostratigrafische und hydraulische Untersuchungsergebnisse – mit einem einseitigen Signifikanztest verbunden – in eine numerische Auswertung eingehen.

Literatur

http://kesslergrube.de

O 3.3: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 11:15-11:30

Rudersdorfer Tunnel – ein umfangreiches Untersuchungskonzept zur hydrogeologischen Einschätzung

Michael Baierl[1], Andreas Drumm[1], Annette Schaber[1]

[1] *DB International GmbH*
Kontakt: Michael.Baierl@db-international.de

Auf der Bahnstrecke Siegen – Gießen (Grenze NRW – Hessen), wurde 1915 der 2,6 km lange Rudersdorfer Tunnel in Betrieb genommen. Der zweigleisige Eisenbahntunnel wurde aufgrund eines erhöhten Wasserandrangs in Teilen des Tunnels schon vermehrt saniert. Der schlechte Zustand führte zur Planung eines Neubaus.

Das Erkundungskonzept umfasst geotechnische, geophysikalische und hydrogeologische Untersuchungen. Es wurden 26 Bohrungen mit Tiefen von 20 - 200m abgeteuft. Davon wurden 13 Bohrungen zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die angetroffenen Gesteine wurden als Ton- und Sandsteine mit tlw. zahlreichen Klüften spezifiziert. Während des Bohrfortschritts liefen parallel geophysikalische, geotechnische und hydraulische Versuche ab. Im Einzelnen wurden hydraulische Tests (KRI, DST, Pulse, Slug, WD), geophysikalische Messungen zur Trennflächenanalyse, Zuflussprofilierung, sowie zur elektrischen Leitfähigkeit durchgeführt. In den Grundwassermessstellen wurden 10 Pumpversuche mit entsprechender Wasserprobennahme durchgeführt. Die Proben wurden auf die Isotope Tritium, Deuterium und Sauerstoff

(^{18}O), sowie den Haupt-Anionen und Kationen analysiert. Zusätzlich erfolgten Wasseranalysen an ausgewählten Standorten von Oberflächengewässern, sowie der Tunnelentwässerung und abgeteuften Bohrungen in die Tunnelsohle.

Anhand der hydraulischen Versuche wurden K_f-Werte von $8{,}4*10^{-6}$ - $2{,}3*10^{-10}$ m/s (DST-, Pulse- und Slug), sowie $3{,}8*10^{-5}$ - $1{,}6*10^{-6}$ m/s (KRI) ermittelt. Beide Versuchsreihen weisen höhere Durchlässigkeiten bei Bohrpunkten mit geringer Überdeckung, sowie in den Störungszonen liegend und geringere Werte bei den übrigen Untersuchungspunkten auf. Die WD-Tests bestätigten dies ebenfalls, wobei geringe Lugeon-Werte von 0,05-0,5 l(min*m) überwiegen und nur in den Störungszonen höhere Werte (2,5 l(min*m)) festgestellt worden sind. Die hydrochemischen Untersuchungen ergaben erdalkalische(-alkalische)-carbonatische Wässer. Der Wasserchemismus von Messstellen in der Nähe des Bestandstunnels zeigt dabei erkennbare Unterschiede zu den in größerer Distanz liegenden auf. Darüber hinaus wurden bei bohrbegleiteten Spülwassermessungen pH-Änderungen und höhere elektrische Leitfähigkeiten festgestellt. Bohrungen, welche durch eine abdichtende Störungszone hydraulisch vom Bestandstunnel getrennt sind, wiesen dabei konstante Werte auf. Die Wasserproben aus der Tunnelentwässerung, sowie der Bohrungen in die Tunnelsohle zeigen mit hohen Sulfat- und Calciumgehalten und hohen Leitfähigkeiten erkennbare Übereinstimmungen zu den tunnelnahen Grundwassermessstellen.

Die Auffälligkeiten des Grundwasserchemismus sind dadurch zu erklären, dass der verwendete Spritzbeton bei Bau und Sanierung, durch beton- und stahlangreifende Wässer angelöst worden ist und in die gesättigte Zone der Tunnelumgebung infiltriert hat. Daraus resultiert das Schadensbild des Bestandstunnels. Dies ist neben den festgestellten hydraulischen Rahmenbedingungen bei der Neubauplanung besonders zu berücksichtigen.

O 3.4: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 11:30-11:45

Einsatz von Grundwassermodellen in der Vorplanung und Begleitung von bauzeitlichen Grundwasserhaltungen beim Ausbau von Bundeswasserstraßen

Martin Becker[1], Hermann-Josef Lensing[2], Christoph M. König[1]

[1] *delta h Ingenieurgesellschaft mbH*

[2] *Bundesanstalt für Wasserbau*

Kontakt: mb@delta-h.de

Bauzeitliche Grundwasserhaltungen stellen bei mittelfristigen Eingriffen in den Grundwasserhaushalt besondere Ansprüche an die Vorplanung hinsichtlich Dimensionierung, Betrieb und Steuerung.

Insbesondere die Erneuerung von Ufereinfassungen und Sohlabdichtungen beim Ausbau von Wasserstraßen in Dammlage führen häufig zu signifikanten Grundwasserstandsänderungen

während der Bauzeit. Da diese Arbeiten meist durch Wanderbaustellen durchgeführt werden, ist neben der Höhe der Grundwasserstandsänderungen auch deren zeitlichem Verlauf besondere Bedeutung beizumessen. Neben der offensichtlich erforderlichen Einhaltung verträglicher Grundwasseranstiege in der Nähe bebauter Bereiche während der Bauzeit ist dort auch die Unschädlichkeit von Grundwasserabsenkungen bei setzungsempfindlichen Böden sicherzustellen. Dies gilt ebenfalls, wenn auch in abgeschwächter Form, für ökologisch wertvolle, sowie ggf. land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen innerhalb des Einflussbereichs der Baumaßnahme.

Analytische Lösungsansätze stoßen hier – insbesondere im Hinblick auf quantitative Aussagen – schnell an ihre Grenzen, da einerseits die zur Gültigkeit erforderlichen Symmetrien bzw. Geometrien für die grundwasserhydraulischen Randbedingungen (räumlicher Aspekt) i.d.R. nicht gegeben sind und darüber hinaus der Einfluss der Dauer der Maßnahme (zeitlicher Aspekt) nur unzureichend berücksichtigt werden kann.

Anhand von Praxisbeispielen aus dem Ausbau von Bundeswasserstraßen wird gezeigt, wie durch den Einsatz numerischer Grundwassermodelle während der Vorplanung kritische Bereiche identifiziert werden können und hieraus die Konzeptionierung von Grundwasserhaltungsmaßnahmen hinsichtlich Ausführung, Lage, Leistungsfähigkeit und Steuerung abgeleitet wird. Ein Schwerpunkt liegt dabei in der Bewertung der Aussagefähigkeit und des Optimierungspotenzials stationärer gegenüber instationärer Modellansätze.

O 3.5: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 11:45-12:00

Auswirkung eines Untertage-Pumpspeicherwerkes auf Grund-, Gruben- und Oberflächenwasser im Steinkohlebergbau

Marion Stemke[1], Stefan Wohnlich

[1] *Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum*
Kontakt: marion.stemke@rub.de

Der Ausstieg aus dem Steinkohlebergbau in Deutschland im Rahmen der Energiewende wird im Jahr 2018 abgeschlossen sein. Im Zuge der Stilllegung wird diskutiert, wie die vorhandene Infrastruktur der Bergwerke für zukünftige Zwecke genutzt werden kann. In Verbindung mit den vorhandenen Grubenbauen bieten sich Untertage-Pumpspeicherwerke zur Energiespeicherung an.

Pumpspeicherwerke stellen an sich eine bewährte Technologie dar, die jedoch immer auf Reliefunterschiede angewiesen sind. Die Funktion der Höhendifferenz können die existierenden Bergbauschächte übernehmen. Der Vorteil der Grubenbaue liegt darin, dass sie einerseits ein definiertes Speichervolumen haben (Strecken und Stollen), dieses jedoch andererseits durch das vorhanden Porenvolumen, Klüfte und die verstürzten Abbaubereiche („Alte Männer“) bei Bedarf erweitert werden kann.

Die Nutzung der Steinkohlenbergbaue des Ruhrgebiets als Untertage-Pumpspeicherwerke im offenen System, also die Einbeziehung des Gebirges als Speicherraum, hat auf Grund der z.T. hochsalinaren Grundwässer einen wesentlichen Einfluss auf die Grund-, Gruben- und Oberflächenwässer. Daher wurden im ersten Schritt die Gestein-Wasser-Wechselwirkungen mit Hilfe von Batch- und Säulenversuchen evaluiert. Die Ergebnisse flossen in PhreeqC-Berechnungen zu den sich einstellenden Mischwässern ein. Im zweiten Schritt wurden mehrere Verfahrensweisen betrachtet. Dazu gehören ein Durchfluss- und ein Kreislaufsystem am Standort Auguste Victoria. Das Durchflusssystem beschreibt das Einleiten von Oberflächenwasser in das Grubengebäude durch den Schacht 3 auf Auguste Viktoria und die Hebung des Mischwassers am Hebepunkt Fürst Leopold. Beim Kreislaufsystem dagegen wird das Oberflächenwasser am selben Standort eingeleitet und gehoben. Für beide Verfahren wurden 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.

O 3.6: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 12:00-12:15

Kanalbau im Heilquellenschutzgebiet am Beispiel Bad Kissingen – Eine komplexe Aufgabe in Planung und Bauausführung

Dominik Richter[1], Verena Herrmann[1], Hubert Hansel[1], Dietmar Johannsen[1], Thomas Hornung[2]

[1] *GMP-Geotechnik GmbH & Co. KG, Beratende Ingenieure und Geologen*
[2] *Stadt Bad Kissingen - Tiefbau, Bad Kissingen*
Kontakt: verena.herrmann@gmp-geo.de

Die Stadt Bad Kissingen plant in der historischen Altstadt die Sanierung von Regenwasserkanälen, einer Bachverrohrung sowie von Abwasserkanälen aus dem Jahr 1890. Die Nutzung von drei der insgesamt sieben Heilquellen erfolgt unmittelbar angrenzend zur Altstadtbebauung. Die Altstadt von Bad Kissingen liegt in der qualitativen und quantitativen Schutzzone der Heilquellen. Die älteste Heilquelle „Maxbrunnen“ wurde erstmals 1520 erwähnt und nach der Neufassung im Jahr 1815 nach dem bayerischen König Max I. benannt.

Die Bestandskanäle liegen bereichsweise im Grundwasser; durch Beschädigungen und Leckagen läuft dieses den Kanalleitungen zu, so dass sich eine dauerhafte Grundwasserabsenkung ergibt. Gleichzeitig bestehen Wechselwirkungen mit dem Schmutzwasser aus dem Mischwasserkanal. Um den Grundwasser- und Heilquellenschutz zukünftig sicherzustellen, ist eine Sanierung erforderlich.

Im Rahmen der Sanierung werden bestehende Kanäle neu gebaut oder mittels Inlinerverfahren abgedichtet. Durch diese baulichen Maßnahmen werden die Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet verändert. Mit der Abdichtung der Kanäle und dem Einbau von

wasserundurchlässigem Material in den Kanalgräben werden die bislang bestehenden Wechselwirkungen im Umfeld verändert und somit die Druckverhältnisse im Grundwasserleiter beeinflusst. Aus historischen Aufzeichnungen zur Kanalbaumaßnahme aus dem Jahr 1890, bei der die Kanalgräben in offener Bauweise errichtet wurden, ist bekannt, dass eine Veränderung der Druckverhältnisse zu einer Änderung der Mineralisation der Heilquellen führt.

Um die Verhältnisse im Stadtgebiet zu erhalten und um Setzungsprobleme durch geänderte Grundwasserverhältnisse in sehr strukturempfindlichen Böden (Torfe und stark verwitterte Wiesenkalke) zu vermeiden, wird ein Grundwasserregulierungssystem geplant und im Rahmen der Sanierung bzw. Kanalerneuerung eingebaut.

In Drainageleitungen, die im Zuge der Verlegung der neuen Kanalrohre in den Leitungsgräben eingebracht werden, wird das Grundwasser gesammelt und in eigens errichtete Schächte abgeleitet. Die Entwässerung der Grundwasserregulierungsschächte erfolgt niveaugeregelt über einen Zentralschacht.

Mit der Installation des Grundwasserregulierungssystems sollen die Veränderungen der Druckverhältnisse vermieden und – falls erforderlich - angepasst gesteuert werden. Die vorgenannten Maßnahmen dienen der Sicherstellung des Heilquellenschutzes unter dem Gesichtspunkt der erforderlichen Modernisierung des Kanalsystems.

Poster

P 3.1

Einfluss der hydraulischen Eigenschaften von Bettungsmaterialien auf die Belastbarkeit erdverlegter Stromkabel

Christoph Drefke[1], Markus Schedel[1], Johannes Stegner[1], Constantin Balzer[2], Volker Hinrichsen[2], Ingo Sass[1]

[1] *FG Angewandte Geothermie, TU Darmstadt*

[2] *FG Hochspannungstechnik, TU Darmstadt*

Kontakt: Drefke@geo.tu-darmstadt.de

Der Stromtransport in erdverlegten Kabeln führt zu Verlusten, die zum überwiegenden Teil in Form von Wärme an den zumeist teilgesättigten Untergrund abgegeben werden. Diese Wärmeverluste werden in der Hauptsache durch den ohmschen Widerstand der elektrischen Leiter verursacht. Um eine Überhitzung der Kabel auszuschließen, muss diese Verlustenergie zuverlässig vom Untergrund abgeführt werden. Die Übertragungsleistung erdverlegter Kabeltrassen ist damit in hohem Maße mit den thermophysikalischen Eigenschaften der Bettung verknüpft.

In offenen Leitungsgräben werden erdverlegte Kabel i. d. R. in den zuvor ausgehobenen Boden oder in spezielle Bettungsmaterialien gebettet. Diese Bettungen stehen in direktem

hydraulischem Kontakt zum umgebenden Boden, weshalb saisonale Veränderungen des hydraulischen Potentials vom umgebenden Boden auf den Bettungskörper übertragen werden. Dies kann zu saisonalen Veränderungen des Wassergehaltes und damit zu drastischen Veränderungen der thermischen Eigenschaften führen.

Die Wärmeverluste von bis zu 70 °C am Kabelmantel, führen zu einer lokalen Erwärmung der umgebenden Bettung, was dort zu Wasserbewegungen und lokalen Veränderungen des Wassergehaltes führt. Diese Veränderungen haben maßgebenden Einfluss auf die thermischen Eigenschaften der Bettung. Neben den natürlichen Veränderungen des Wassergehaltes, müssen deswegen die durch den Betrieb erdverlegter Stromkabel verursachten Veränderungen des Wassersgehaltes aufgrund Verdunstungs- und Kondensationsvorgänge berücksichtigt werden.

In Labor und Freilandversuchen werden die hydraulischen, thermophysikalischen und geotechnischen Kennwerte teilgesättigter Lockergesteine und Bettungsmaterialien untersucht. Die Bettungsmaterialien wurden so ausgewählt, dass sie repräsentativ für die üblicherweise als Kabelbettung verwendeten Materialien (Böden und Baustoffe) stehen. Ziel der kombinierten Untersuchung ist, die Anwendbarkeit von in Laborversuchen an Bodenproben gewonnenen thermophysikalischen Bemessungskennwerte für die Realität zu überprüfen. Hierbei werden die Laborkennwerte in einem realitätsnahen Großfeldversuch auf einem Testfeld, in dem reale Mittel- und Niederspannungskabel eingebaut sind und mit variablen Lasten beaufschlagt werden, validiert und kalibriert.

Die Aufheizkurven von Kabeln im Testfeld werden dabei unter Verwendung geothermischer Berechnungsmethoden zur in-situ Bestimmung der thermophysikalischen Kennwerte, die zur Zeit hauptsächlich für die Dimensionierung von Erdwämesonden-Anlagen verwendet werden ausgewertet und auf die im Labor ermittelten Kennwerte rückgerechnet. Diese stellen anschließend eine wichtige Grundlage für gekoppelte thermisch, hydraulisch Finite Elemente Modellierungen sowohl der Umgebung erdverlegter Stromkabel als auch von flachen geothermischen Anlagen dar.

P 3.2

In welcher Qualität ermitteln wir eigentlich die hydraulischen Parameter für Baumaßnahmen im Grundwasser?

Uwe Hekel[1]

[1] *HPC AG Rottenburg*
Kontakt: uwe.hekel@hpc.ag

Hydraulische Parameter sind die Grundlage sämtlicher hydraulischer Berechnungen bei der Planung von Baumaßnahmen im Grundwasser. Für die richtige Dimensionierung von Wasserhaltungen beispielsweise spielt die Qualität des angesetzten Durchlässigkeitsbeiwerts eine entscheidende Rolle. Selbst wenn für die Ermittlung der Durchlässigkeit Feldversuche durchgeführt

werden, sind in Abhängigkeit von der eingesetzten Versuchs- und Auswertemethode erhebliche Qualitätsunterschiede festzustellen (Hekel & Odenwald, 2012).

Neben der technisch korrekten Durchführung ist für das Versuchsergebnis qualitätsbestimmend, welche Versuchs- und Auswertemethoden Erkundungsprogramm ausgeschrieben werden. Hierbei ist leider oftmals eine erhebliche Unkenntnis der Einsatzgebiete und Anwendungsbereiche verschiedener Versuchsmethoden festzustellen.

Aus ursprünglich nicht oder allenfalls für eine überschlägige Durchlässigkeitsabschätzung gedachten Absenk- oder Wasserdruckversuchen werden häufig mittels einfacher stationärer Formeln Durchlässigkeitswerte abgeleitet. Diese Verfahrensweise ist jedoch extrem fehleranfällig, da wesentliche Versuchseinflüsse unerkannt und unberücksichtigt bleiben. In der Folge können die so ermittelten Werte über eine Größenordnung oder mehr von den tatsächlichen Verhältnissen abweichen, mit entsprechenden Folgen für die Planung bzw. bei der Bauausführung.

Instationäre Versuchsdurchführungen bieten demgegenüber die Möglichkeit, Störeinflüsse zu erkennen und zu eliminieren. Die so ermittelten Durchlässigkeitswerte sind von relevant besserer Qualität. Dabei sind die Versuchsmethoden, die instationär interpretierbare Daten liefern, sind mit gängigem Messequipment ohne wesentlichen Mehraufwand durchzuführen.

Der Vortrag behandelt die Grundlagen und Einsatzbereiche der verschiedenen Versuchsmethoden. Anhand von Praxisbeispielen werden die Fehleranfälligkeit stationärer Methoden und die Vorteile instationärer Verfahren erläutert. Außerdem wird ein Überblick aktueller DIN-Normen und Regelwerke für die verschiedenen Versuchsdurchführungen gegeben.

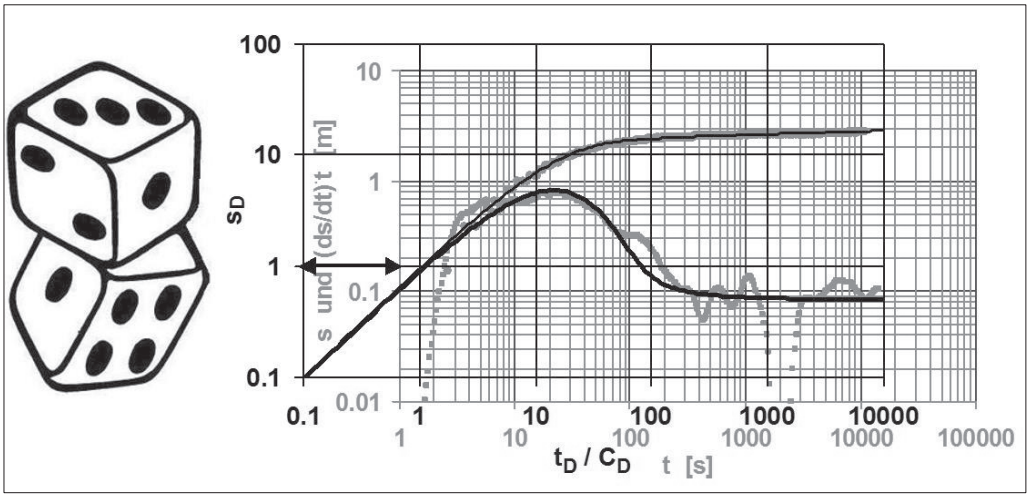


Abb. 1: Wie genau soll der Durchlässigkeitsbeiwert sein?

Literatur

Hekel, U., Odenwald, B. (2012): Bohrlochversuche zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit von Fels. - BAW-Mitteilungen Nr. 95, Karlsruhe

Odenwald, B., Hekel, U., Thormann, H. (2009): Grundwasserströmung - Grundwasserhaltung. – In: Witt, K.J. (Hrsg.) Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren. 7., überarbeitete u. aktualisierte Auflage, ca. 950 Seiten, ca. 500 Abbildungen; Berlin (Ernst & Sohn)

P 3.3

Verbesserung der Energieeffizienz von Brunnen – Möglichkeiten und Grenzen

Georg Houben[1]

[1] *BGR*
Kontakt: georg.houben@bgr.de

Die im Brunnen gemessene Absenkung ist die Summe der Verluste die durch das Durchströmen des Grundwasserleiters, der Skin-Schicht, des Filterkieses, der Filterschlitze und des Brunneninneren verursacht werden. Aufgrund der Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit mit abnehmender Entfernung zur Brunnenachse wechselt die Strömung gewöhnlich von linear-laminar über nicht linear laminar zu turbulent. Es wurde ein analytischer Ansatz entwickelt, mit dem die Verlustbeiträge der einzelnen Komponenten in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit berechnet werden kann. Für übliche Brunnen- und Aquiferparameter zeigte sich, dass der Grundwasserleiter und die Skin-Schicht die Verluste dominieren. Da nur letzere wirklich beeinflußt werden kann, ergibt sich, dass eine gute Brunnenentwicklung die wichtigste Maßnahme ist, um die Verluste zu minimieren und die Energieeffizienz zu steigern.

Literatur

Houben, G.J. (2015): Hydraulics of water wells – flow laws and influence of geometry – Hydrogeol. J. (in print).

Houben, G.J. (2015): Hydraulics of water wells – head losses of individual components – Hydrogeol. J. (in print).

P 3.4

Umsetzung von Unterhalts-, Ausbau- und Renaturierungsmaßnahmen an Bundeswasserstraßen im Spannungsfeld konkurrierender wasserwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Anforderungen

Hermann Josef Lensing[1], Thomas Nuber[1]

[1] *Abteilung Geotechnik, Bundesanstalt für Wasserbau*
Kontakt: hoerby.lensing@baw.de

Bei der Durchführung von Unterhalts- und Ausbaumaßnahmen aber auch bei der Umsetzung von Renaturierungsvorhaben an Bundeswasserstraßen sind insbesondere in den verkehrswasserbaulich genutzten Flussauen unterschiedliche, teils konkurrierende Anforderungen zu erfüllen. Neben der verkehrswasserbaulichen Zielstellung der jeweiligen Maßnahme sind hier aus wasserwirtschaftlicher Sicht vor allem die Anforderungen aus dem Hochwasserschutz und aus der Trinkwassergewinnung zu nennen. Der naturschutzfachliche Forderungskatalog ergibt sich vor allem aus der FFH-Richtlinie, der Vogelschutzrichtlinie und der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie sowie den nationalen gesetzlichen Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes und der Wasserhaushaltsgesetze. Darüber hinaus sind Randbedingungen, die sich aus der bestehenden Bebauung und der Erholungsfunktion ergeben, zu berücksichtigen.

Aufgrund der funktionellen Verzahnung der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser in Flussniederungen beschränken sich die vorhabensbedingten Auswirkungen von Unterhalts-, Ausbau und Renaturierungsmaßnahmen nicht nur auf die betroffenen Flüsse selbst sondern betreffen auch das Grundwasser. Dabei sind nicht nur die quantitativen Parameter GW-Stand und -dynamik sondern ebenfalls das GW-Strömungsfeld und die GW-Beschaffenheit bei der Bewertung zu berücksichtigen. Insbesondere in Flussauen, die zur Trinkwasserversorgung durch Uferfiltrat genutzt werden, bilden daher alle Maßnahmen mit verkehrswasserbaulicher oder naturschutzfachlicher Zielsetzung ein hohes wasserwirtschaftliches Konfliktpotential.

Anhand ausgesuchter Beispiele aus der verkehrswasserbaulichen Praxis werden die kritischen Fragestellungen identifiziert und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Schwerpunkte bilden dabei die Bewertung der nutzbaren Prognoseinstrumente sowie eine aussagekräftige Beweissicherung der Maßnahmen.

P 3.5

Erkundung und Herkunft einer geogenen Kohlendioxidkontamination eines Thermalsolebades, Bad Nauheim

Ingo Sass[1], Rafael Schäffer[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, FG Angewandte Geothermie, TU Darmstadt*
Kontakt: schaeffer@geo.tu-darmstadt.de

Im oberflächennahen Grundwasser Bad Nauheims sind anomal hohe Temperaturen, Salz- und Kohlendioxidkonzentrationen beobachtet worden. Letztere sind auch in der Bodenluft nachweisbar. Der Kontaminationsherd befindet sich im Sprudelhof, einer weltweit einzigartigen Kuranlage im Jugendstil, in dem heute aus zwei Bohrungen aus den Jahren 1838 und 1852 kohlendioxidhaltige Thermalsole aus einer Teufen von 147 m gefördert wird. Der Soleaufstieg erfolgt natürlich durch Gaslift. Zur Erkundung der Kontamination wurde ein Messstellennetz errichtet. Kernstück bilden Duo-Brunnen, in denen eine unabhängige Beprobung des Grundwassers und der Bodenluft möglich sind. Seit zwei Jahren stattfindende Stichtagsmessungen und eine Erkundung der Sprudelfassungen selbst haben ergeben, dass Sole und Kohlendioxid unkontrolliert aus den Fassungen austreten und sich im oberflächennahen Untergrund ausbreiten. Für die zwei obersten Grundwasserstockwerke konnten gut übereinstimmende Sole-Grundwasser-Mischungsverhältnisse sowie Gradienten der Zunahme der Temperatur, Kohlendioxidkonzentration und elektrischen Leitfähigkeit berechnet werden.

Der Beitrag zeigt die komplexe Wechselwirkung zwischen Thermalwasserleiter, tieferem Grundwasserleiter und dem flachen Talauengrundwasserleiter in einer Multiparameterstudie auf und problematisiert verschiedene Sanierungsoptionen.

4 Endlager und Untertagedeponien

Vorträge

O 4.1 : Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 09:45-10:00

Nuclear waste disposal in Germany – present situation and perspectives

Horst Geckeis[1]

[1] *Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*
Kontakt: thorsten.schaefer@kit.edu

The new German repository site selection law issued in 2013 defines a re-start of the process for the safe disposal of heat producing radioactive waste coming from electricity production by nuclear fission in Germany. While the abandoned iron ore mine "shaft Konrad" has been licensed as a national repository for radioactive waste with negligible heat production, a site for 10.500 tSM used nuclear fuel and ca. 8.000 canisters filled with vitrified high level waste and technological waste from reprocessing still has to be selected. Additionally, spent fuel from prototype and research reactors, uranium tails from isotope enrichment activities and potentially retrieved waste from the Asse salt mine have to be disposed of safely (BMUB 2015).

Defined by the law and by the recommendations of a currently active parliamentary commission, a process will be developed consisting of a stepwise approach based on scientific selection criteria and including instruments for the consultation and participation of local authorities and the public. Individual decisions concerning the selection of regions for above surface exploration, of regions for subsurface investigations and a final comparative site selection will be taken by the parliament and defined by law. Challenges arise by the definition of a procedure which finally will be accepted by the majority of the public as transparent and "fair". Furthermore, the process of selecting regions and sites will only be possible by comparing and assessing the safety of disposal concepts in the various hostrocks potentially available. In a first instance, all host rock types currently investigated in European countries for the disposal of heat producing waste: rocksalt, clay rock and crystalline rock, will also have to be considered in Germany.

The present situation with regard to host rock formations to be considered in Germany and various aspects of the site selection procedure will be described and discussed (DAEF 2014).

Literatur

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Entwurf 06. Januar, 2015. Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm).

Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF); Aspekte eines Standortauswahl-verfahrens für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle, Oktober 2014

O 4.2: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 10:00-10:15

The long-term performance of a claystone barrier for a high-level radioactive waste repository in Switzerland: An evaluation using multiple lines of evidence

Andreas Gautschi[1]

[1] *Bereich Geologie, Sicherheit, Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle)*
Kontakt: andreas.gautschi@nagra.ch

In Switzerland, the Nuclear Energy Law requires the disposal of all radioactive waste in deep geological repositories. The Swiss program foresees two types of repositories: one for low- and intermediate-level waste (L/ILW) and one for spent fuel (SF), vitrified high-level waste and long-lived ILW. The procedure for selecting the repository sites is defined in the Sectoral Plan for Deep Geological Repositories (SFOE 2008) and the corresponding process is managed by the Swiss Federal Office of Energy. The Sectoral Plan foresees the selection of sites in three stages, the third stage leads to a General License. Stage one of the Sectoral Plan has been concluded with the proposal of four different sedimentary host rocks for the L/ILW repository, for the HLW repository the Opalinus Clay formation in Northern Switzerland has been selected (Nagra 2008). The envisaged repository depth is between 450 and 900 m. The ongoing Stage 2 of the Sectoral Plan aims at narrowing down potential geological siting region (Nagra 2014a, b). During Stage 3 the remaining sites will be investigated in detail (deep boreholes, 3D seismics).

The Opalinus Clay is a 80 – 130 m thick marine claystone formation of Jurassic age (Aalenian). An extensive site and host rock investigation programme has been carried out during the past 30 years comprising extensive 2D seismics surveys, a 3D seismic campaign covering 50 km^2 in northeastern Switzerland, a series of deep boreholes within and around the potential siting regions, experiments in the International Mont Terri Underground Rock Laboratory in northwestern Switzerland, and compilations of data from Opalinus Clay in railway and motorway tunnels.

The properties of the geosphere barrier that are relevant from the viewpoint of long-term safety can be summarised as follows:

- diffusion is the dominant transport mechanism, with advection playing a secondary role, and clay-rich confining units over- and underlying the Opalinus Clay host rock act as a supplementary barrier to migrating radionuclides.
- faults in the Opalinus Clay do not represent preferential flow-paths, which is attributed to an efficient self-sealing mechanism.

- stable, reducing geochemical conditions are present and the host rock has favourable sorption properties
- the self-sealing capacity of the Opalinus Clay minimizes the effects of perturbations caused by the repository (excavation damaged zone)

The main conclusions are supported by multiple lines of evidence demonstrating consistency among hydraulic properties (tests and observations at various scales), pore water geochemistry, laboratory- and in-situ diffusion experiments, as well as distribution of natural tracers across the Opalinus Clay.

References

SFOE (2008): Sectoral Plan for Deep Geological Repositories – Conceptual Part. Department of Environment, Transport, Energy and Communications (DETEC)/SFOE. April 2008, Bern, Switzerland.

Nagra (2008): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager. Geologische Grundlagen. Nagra Technical Report NTB 08-04. Nagra, Wettingen, Switzerland.

Nagra (2014a): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2: Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Nagra Technischer Bericht NTB 14-01. Nagra, Wettingen, Switzerland.

Nagra (2014b): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Nagra Technischer Bericht NTB 14-02. Nagra, Wettingen, Switzerland.

O 4.4: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 10:15-10:30

Full Scale Hydraulic Response of Opalinus Clay to Tunneling, Ventilation, and Heating – Investigations of the FE-Experiment at the Mont Terri underground research laboratory in Switzerland

Tobias Vogt[1], Herwig R. Müller[1], Benoit Garitte[1], Toshihiro Sakaki[1], Tim Vietor[1]

[1] Nagra

Kontakt: tobias.vogt@nagra.ch

The Full-Scale Emplacement (FE) Experiment at the Mont Terri underground research laboratory in Switzerland is a full-scale multiple heater test in Opalinus Clay. Based on the Swiss disposal concept it simulates the construction, emplacement, backfilling, and early post-closure thermo-hydro-mechanical (THM) evolution of a spent fuel / vitrified high-level waste repository tunnel in a realistic manner. The main aim of this experiment is to investigate at full scale repository-induced THM coupled effects onto the host rock and to validate existing coupled THM models. A further aim is to gather experience with full-scale tunnel construction and associated hydro-mechanical (HM) processes in the host rock.

The entire experiment implementation (in a 50 m long gallery with approx. 3 m diameter) as well as the early post-closure THM evolution are monitored using a network of several

hundred sensors (state-of-the-art sensors and measurement systems as well as fiber-optic sensors). The sensors are distributed in the host rock's near- and far-field, the tunnel lining, the engineered barrier system, which consists of bentonite pellets and blocks, and on the heaters.

We will present the full scale hydraulic response of Opalinus Clay to tunneling, ventilation, and heating. In particular, we investigated the excavation induced hydraulic response of the host rock. Therefore, the spatiotemporal evolution of porewater-pressure time series was closely analyzed to get a better understanding of HM coupled processes during and after the excavation phase as well as the impact of anisotropic geomechanic and hydraulic properties of Opalinus Clay on its hydraulic behavior. Excavation related investigations were completed by means of inclinometer data to characterize the non-elastic and time-dependent deformations. In addition, we evaluated the effect of drainage and suction processes during the ventilation phase on the pressure distribution in the host rock. The rock-mass close to the tunnel wall behaves differently depending on type of tunnel support. Where Opalinus Clay is supported only by steel arches without shotcrete, seasonal fluctuations in saturation are observed in shallow depths that were analyzed further by time-series analysis tools to better understand the anisotropic hydraulic properties of Opalinus Clay in the unsaturated zone. The heating phase of the FE Experiment started in February 2015. Therefore, we will present results of the first year of heating with regard to spatiotemporal water fluxes in the engineered barrier system and triggered THM processes in the rock. Based on the new findings in our results the conceptual models of HM and THM processes and hydraulic behavior of clay rich formations during excavation, ventilation, and early post-closure (heating) phases will be improved.

O 4.5: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 10:30-10:45

High-resolution characterization of the EDZ in the Callovo-Oxfordian Clay using hydraulic tomography and gas interference tests

Ralf Brauchler[1], Rémi de La Vaissière[2], Jean Croisé[1], Rainer Schwarz[1], Reto Thöny[1], Ralph Mettier[1]

[1] *AF-Consult Schweiz AG*

[2] *Andra, Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs*

Kontakt: ralf.brauchler@afconsult.com

The Meuse / Haute Marne Underground Research Laboratory (URL) provides the location for an experiment, designed to investigate the induced fracture network around open or sealed drifts. The aim of this experiment, called the CDZ-experiment (Compression of the Damaged Zone) is to study the effects of mechanical loading and unloading on the mechanical and hydraulic properties of the EDZ (Excavation damaged zone). In the context of this experiment, a large number of gas permeability tests were performed between six closely spaced wells prior to and after the mechanical loading of the EDZ. The tests allow for the characterization and

quantification of the effect of the mechanical loading on the hydraulic (pneumatic) properties of the EDZ (de La Vaissière et al., 2014).

The gas tests were first analyzed based on the pressure and flowrate data recorded solely at the source boreholes using the numerical borehole simulator Multisim, which was developed by AF-Consult Switzerland Ltd. Multisim is particularly suited for the analysis of hydraulic tests performed in low permeability media.

In a second step, the cross-hole pressure responses of the gas permeability tests were analyzed with a travel time based tomographic approach proposed by Brauchler et al. (2003). The inversion is based on the transformation of the transient ground water flow equation into the eikonal equation using an asymptotic approach. The eikonal equation can be solved with ray tracing techniques or particle tracking methods, which allows the inversion of large data sets in a short time with relatively low computational effort (common PC). The main feature of this procedure is a travel time integral relating the square root of the peak travel time, assuming a Dirac point source at the origin, to the inverse square root of the hydraulic diffusivity.

The reconstructed three-dimensional hydraulic diffusivity distribution displays the different zones of the EDZ with a high level of detail and provides important information about the spatial distribution of hydraulic parameters within the EDZ. Particularly, the reconstructed diffusivity distribution reflects the different zones of the excavation-induced fracture network described by Armand et al. (2014), wherein the fracture network was characterized in great detail, based on drill-core logging and resin injection. The comparison of the reconstructed tomograms with the results of the single-borehole analysis shows a reasonable agreement.

References

Armand, G., Leveau, F., Nussbaum, C., de La Vaissiere, R., Noiret, A., Jaeggi, D., & Righini, C. (2014): Geometry and properties of the excavation-induced fractures at the Meuse/Haute-Marne URL drifts. Rock mechanics and rock engineering, 47(1), 21-41.

Brauchler, R., Liedl, R., & Dietrich, P. (2003): A travel time based hydraulic tomographic approach. Water Resources Research, 39(12), 1370.

de La Vaissière, R., Morel, J., Noiret, A., Côte, P., Helmlinger, B., Sohrabi, R. & Nussbaum, C. (2014): Excavation-induced fractures network surrounding tunnel: properties and evolution under loading. Geological Society, London, Special Publications, 400(1), 279-291.

O 4.6: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 11:15-11:30

Strömung und Stofftransport im Kluftgestein bei Äspö, Schweden

Klaus-Peter Kröhn[1]

[1] *GRS gGmbH*
Kontakt: Klaus-Peter.Kroehn@grs.de

In Schweden ist das Kristallin das einzige potentielle Wirtsgestein für ein Endlager für radioaktive Abfälle. Für In-situ-Versuche in diesem Gestein wurde 1995 das Hard Rock Laboratory

(HRL) auf der Insel Äspö eingerichtet. Im Rahmen der dort durchgeführten TRUE-Experimente (Tracer Retention Understanding Experiments) bildete das TRUE Block Scale Projekt (Winberg et al., 2002) die Basis für das "TRUE Block Scale hydrostructural model", das eine Größe von 200 m x 200 m x 200 m umfasste (Dershowitz et al., 2003). Dieses Modell bestand aus 22 deterministischen, d. h. tatsächlich vor Ort nachgewiesenen Klüften, die eine Größe von über 50 m aufwiesen. Kleinerer Klüfte bezeichnete man als „Hintergrundklüfte". Diese lassen sich allenfalls als Spur an Tunnelwänden feststellen und können deshalb nur mit geostatistischen Methoden beschrieben werden.

Elf der 22 deterministischen Klüfte wurden aus verschiedenen Gründen aus dem Modell entfernt (Dershowitz et al., 2003). In Modellbereichen, die nicht gut genug erkundet waren, wurden insgesamt 19 „synthetische" Klüfte in der Größenordnung von 100 m ergänzt, die zuvor durch ein stochastisches Kluftmodell generiert worden waren. Diese werden pragmatisch mit den deterministischen Klüften zur Gruppe der großskaligen Klüfte zusammengefasst. Die in der gleichen Realisation erzeugten 5660 synthetischen Hintergrundklüfte wurden ebenfalls zum Modell hinzugefügt. Die Matrix wurde dagegen nicht betrachtet.

Parallel dazu wurde auch der Tracertest „C2" durchgeführt (Andersson et al., 2002). Über ein Bohrloch mit einem Doppelpackersystem wurde eine Lösung mit vier unterschiedlich stark sorbierenden Tracern in eine Kluft injiziert, was zu einer Punktquelle für Lösung und Tracer in einer Kluft idealisiert werden kann. Analog wurde eine punktförmige Senke in einer anderen Kluft realisiert, wobei Injektions- und Extraktionspunkt über vier Klüfte hydraulisch miteinander verbunden waren. Die Abpumprate sowie die zeitveränderliche Konzentration der Tracer an der Senke wurden aufgezeichnet.

Das Konzept für die hier vorgestellten Strömungs- und Transportmodelle weicht in einem Punkt vom "TRUE Block Scale hydrostructural model" ab. Rechnungen an anderen Stellen im HRL Äspö lassen erkennen, dass der hydraulische Einfluss der Hintergrundklüfte auf die Strömung durch eine erhöhte Matrixpermeabilität ausreichend genau berücksichtigt werden kann (Kröhn, 2015). Das hier verfolgte konzeptuelle Modell besteht daher nur aus den 21 großskaligen Klüften in einem Homogenbereich, der sowohl die Matrix als auch die Hintergrundklüfte repräsentiert.

Die Randbedingungen für die Strömung stammen aus einem Regionalmodell und sind als diskrete Standrohrspiegelhöhen auf der Oberfläche des Modellgebietes gegeben. Die hier vorgestellten Modellrechnungen wurden mit den Codes d^3f und r^3t (Schneider, 2012) durchgeführt, wobei d^3f das Strömungsfeld lieferte und r^3t Aufschluss über die Fließwege der Tracer sowie über die Durchbruchskurven am Extraktionspunkt gab.

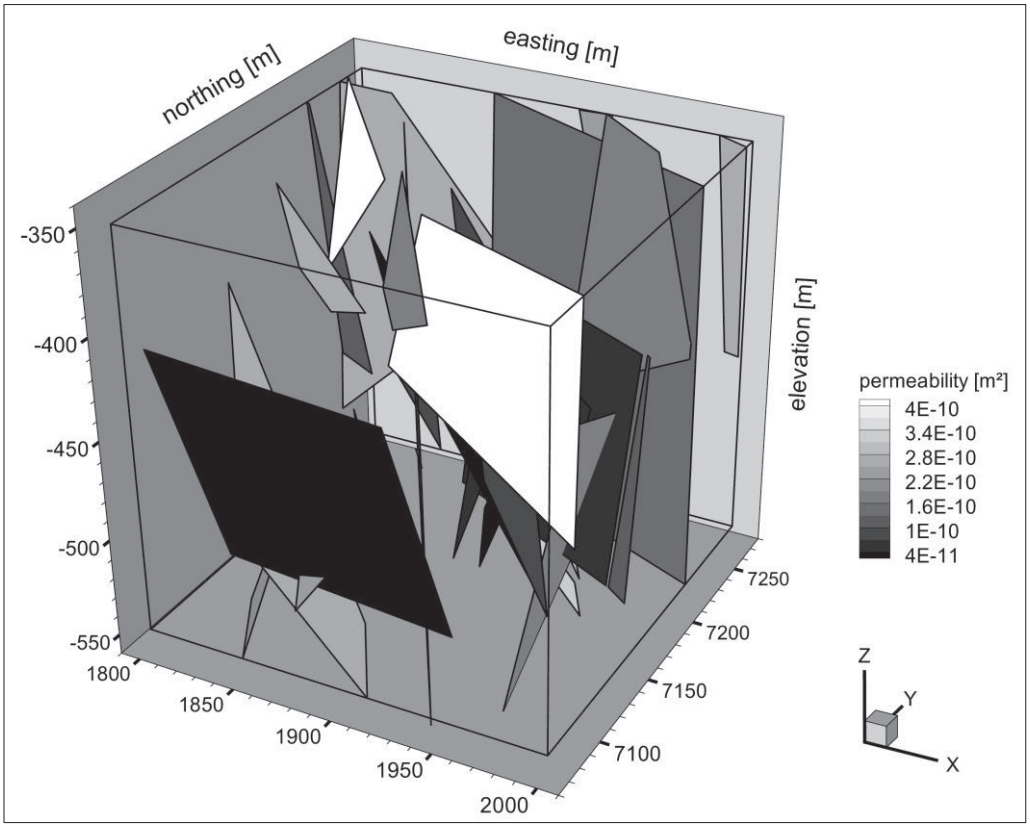


Abb. 1: Fracture Transmissivities

Literatur

Andersson, P., Byegård, J., Winberg, A. (2002): Final report of the TRUE Block Scale project - 2. Tracer tests in the block scale. Technical Report TR-02-14, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB), Stockholm.

Dershowitz, W., Winberg, A., Hermanson, J., Byegård, J., Tullborg, E.-L., Andersson, P., Mazurek, M. (2003): Äspö Task Force on modelling of groundwater flow and transport solutes; Task 6c - A semi-sythetic model of block scale conductive structures at the Äspö HRL. International Progress Report IPR-03-13, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB), Stockholm.

Kröhn, K.-P. (2015): Characterising groundwater flow in the fractured rock at Äspö, Sweden. Computing and Visualization in Science, (to be published)

Schneider, A. (ed.) (2012): Enhancement of the codes d³f and r³t. GRS-292 BMWi-FKZ 02 E 10336 , 365 S.; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Braunschweig.

Winberg, A., Andersson, P., Byegård, J., Poteri, A., Cvetkovic, V., Dershowitz, B., Doe, T., Hermanson, J., Gómez-Hernández, J-J., Hautojärvi, A., Billaux, D., Tullborg, E-L., Meier, P. and Medina, A. (2002): TRUE Block Scale Project; Final Report – 4. Synthesis of flow, transport and retention in the block scale. Technical Report TR-02-16, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB), Stockholm.

O 4.7: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 11:30-11:45

Modelling of Tc migration in an un-oxidized fractured drill core from Äspö, Sweden

Florian Huber[1], Yuri Totskiy[1], Vanessa Montoya[1], Frieder Enzmann[2], Michael Trumm[1], Achim Wenka[1], Horst Geckeis[1], Thorsten Schäfer[1]

[1] *KIT*

[2] *Johannes Gutenberg Universität Mainz*

Kontakt: florian.huber@kit.edu

The radionuclide retention of redox sensitive radionuclides (e.g. Pu, Np, U, Tc) in crystalline host rock greatly depends on the rock matrix and the rock redox capacity. Preservation of drill cores concerning oxidation is therefore of paramount importance to reliably predict the near-natural radionuclide retention properties. Here, experimental results of HTO and Tc laboratory migration experiments in a naturally single fractured Äspö un-oxidized drill core are modelled using two different 2D models. Both models employ geometrical information obtained by µ-computed tomography (µCT) scanning of the drill core. The models differ in geometrical complexity meaning the first model (PPM-MD) consists of a simple parallel plate with a porous matrix adjacent to the fracture whereas the second model (MPM) uses the mid-plane of the 3D fracture only (no porous matrix). Simulation results show that for higher flow rates (Peclet number > 1), the MPM satisfactorily describes the HTO breakthrough curves (BTC) whereas the PPM-MD model nicely reproduces the HTO BTC for small Pe numbers (<1). These findings clearly highlight the influence of fracture geometry/flow field complexity on solute transport for Pe numbers > 1 and the dominating effect of matrix diffusion for Peclet numbers < 1. Retention of Tc is modelled using a simple Kd-approach in case of the PPM-MD and including 1st order sorptive reduction/desorption kinetics in case of the MPM. Batch determined sorptive reduction/desorption kinetic rates and Kd values for Tc on non-oxidized Äspö diorite are used in the model and compared to best fit values. By this approach, the transferability of kinetic data concerning sorptive reduction determined in static batch experiments to dynamic transport experiments is examined.

O 4.8: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 11:45-12:00

Modellierung der dichtbeeinflussten Grundwasserströmung mit freier Oberfläche in einem semiariden Gebiet in New Mexico

Anke Schneider[1], Kristopher Kuhlman[2], Lukas Brand[1], Dmitrij Logashenko[3], Sebastian Reiter[3], Andreas Vogel[3]

[1] *Abteilung Sicherheitsanalysen, GRS gGmbH*
[2] *Sandia National Laboratories, Albuquerque, USA*
[3] *G-CSC Goethe-Universität Frankfurt a. M.*
Kontakt: anke.schneider@grs.de

Die WIPP Site (Waste Isolation Pilot Plant) ist ein Endlager für transurane Abfälle in einem semiariden Gebiet östlich von Carlsbad, New Mexico, USA. Das Endlager selbst befindet sich in einer mächtigen, permischen, flach gelagerten Salzformation, dem so genannten Salado. Dieses Wirtsgestein wird überdeckt von einer Folge aus ebenfalls flach gelagerten, geringmächtigen, triassischen Halit-, Dolomit- und Anhydritschichten sowie Trümmergesteinen, gefolgt von von triassischem und quartärem Sandstein.

Bereits in der Vergangenheit wurden zahlreiche Modelle erstellt, um die Grundwasserströmung im Deckgebirge oberhalb des Salados zu untersuchen, insbesondere von den Sandia National Laboratories, siehe u. a. Davies, P. (1989) und Corbet, T. F. (2000). Dabei entstanden sowohl 2d als auch 3d Modelle, die eine oder mehrere hydrogeologische Einheiten umfassten, bis hin zu einem umfassenden 3d Beckenmodell mit einer Ausdehnung von rund 6 000 km^2. Das Ziel dieser Modellierungsarbeiten bestand in einer Charakterisierung der Grundwasserströmung in der Umgebung der WIPP Site über mehrere zehntausend Jahre.

Diese frühen Arbeiten berücksichtigten Dichteeffekte nur in 2d-Modellen oder in 3d-Modellen mit geringerer Ausdehnung. In jüngster Zeit wurden die Modellierungsarbeiten wieder aufgenommen mit dem Ziel, ein 3d Dichteströmungsmodell für das gesamte Becken zu erstellen. Das Modellgebiet hat eine Tiefe von etwa 700 m. Dabei werden 10 hydrogeologische Schichten unterschieden, von denen die meisten sehr geringe Permeabilitäten aufweisen. Die beiden Hauptgrundwasserleiter haben eine durchschnittliche Mächtigkeit von nur etwa 3 m, und ihre Permeabilitäten liegen bis zu 7 Größenordnungen über denen der benachbarten Grundwasserstauer. Im Zusammenwirken mit der großen horizontalen Ausdehnung des Modellgebietes rufen diese Eigenschaften extreme Anisotropien hervor und stellen eine Herausforderung für die Numerik dar. Hinzu kommen die relativ große freie Grundwasseroberfläche und die extrem geringen Grundwasserneubildungsraten über einen sehr langen Zeitraum.

Die gegenwärtigen Simulationen sollen zu einem besseren Verständnis der Hydrogeologie des Beckens beitragen, den Einfluss der Dichteeffekte sowie variierender Grundwasserneubildungsraten auf das Strömungsverhalten untersuchen und Prognosen für die nächsten 10 000 Jahre erlauben. Präsentiert werden erste Simulationsergebnisse für das 3d Beckenmodell mit

Hilfe des Codes d³f (distributed density-driven flow, Schneider, A. et al 2012). Mittelfristig sollen diese mit den Resultaten des SNL-eigenen Codes PFLOTRAN (Lichtner, P.C. et al 2014) verglichen werden, um Aussagen über die Prognosesicherheit beider Codes zu ermöglichen.

Literatur

Corbet, T. F. (2000): A groundwater-basin approach to conceptualize and simulate post-Pleistocene subsurface flow in a semi-arid region, southeastern New Mexico and western Texas, USA. Hydrogeology Journal 8:310-327.

Davies, P. (1989): Variable-density groundwater flow and paleonhydrogeology in the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) region, southeastern New Mexico, USGS Open File Report 88-490, USA.

Lichtner, P. C., Hammond, G. E., Lu, C., Karra, S., Bisht, G., Andre, B., Mills, R. T., and Kumar, J. (2014): PFLOTRAN user manual: A massively parallel reactive flow and transport model for describing surface and subsurface processes. http://www.pflotran.org/ 2014.

Schneider, A. (ed., 2012): Enhancement of the codes d³f and r³t, GRS 292, BMWi-FKZ 02 E 10336, Braunschweig.

O 4.9: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 12:00-12:15

Grundwasseroberfläche und -bewegung im Deckgebirge der Asse

Peter Schulte[1], Ralph Mettier[1], Jens F. Führböter[2]

[1] *AF-Consult Switzerland AG*

[2] *Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)*

Kontakt: peter.schulte@afconsult.com

Das Verständnis der Grundwasser-Fliesssysteme im Deckgebirge der Asse-Salzstruktur stellt eine wichtige Grundlage für numerische Grundwasserströmungs- und Transportmodellierungen zur Untersuchung der potentiellen Ausbreitung von Schadstoffen aus der Schachtanlage Asse II dar. Für die Ausprägung der Fliesssysteme ist – neben den hydrogeologischen Gesteinseigenschaften – v.a. die Grundwasseroberfläche und damit verknüpft, die Lage von Infiltrations-/Exfiltrationszonen und Grundwasserscheiden, relevant. Ziel ist es, neue hydrogeologische Daten zur Grundwasseroberfläche und -bewegung im Deckgebirge der Asse auszuwerten und zu interpretieren.

Das mesozoische Deckgebirge der Asse-Salzstruktur wird i.W. durch alternierende Abfolgen aus (i) sehr gering durchlässigen, tonig-mergelig bis evaporitischen Schichten und (ii) höherdurchlässigen, siltig-sandigen oder kalkigen Schichten aufgebaut. Die Grundwasserbewegung erfolgt vorwiegend entlang von Trennflächen; diese können oberflächennah durch Verkarstung oder Subrosion erweitert sein. Weiterhin ist eine lokal z.T. sehr mächtige ungesättigte Zone von bis zu 60 m ausgebildet. Hydrochemisch zeichnen sich die Deckgebirgswässer durch eine hohe Variabilität der Salinität aus, die bis hin zu gesättigten Salzlösungen reichen kann.

Basis der Studie bilden Daten von Grundwassermessstellen im Nahbereich um die Schachtanlage Asse II (inkl. mehrerer Multilevel-Messstellen), für die geophysikalische Untersuchungen sowie langjährige hochaufgelöste Ganglinien des Druckspiegels und der Temperatur vorliegen.

Die Ganglinien wurden mittels Zeitreihenanalyse (Korrelation, Komponentenzerlegung, Fourier- und Wavelet-Analyse) sowie mittels Bestimmung der barometrischen Effizienz als Funktion der Zeit (sog. "barometric response function") untersucht.

Anhand der Ergebnisse lässt sich insgesamt die Datenlage zur Grundwasserbewegung und Ausprägung der Fliesssysteme im Deckgebirge der Asse sowie zur Charakterisierung der hydrostratigraphischen Einheiten erweitern und verbessern. Insbesondere ergeben sich neue Anhaltspunkte für die Lage der Grundwasseroberfläche in wesentlichen Bereichen des Asse-Höhenzuges. Die Ergebnisse zeigen zudem die Existenz ausgeprägter vertikaler Gradienten in verschiedenen Teilgebieten des Asse-Höhenzuges, lassen Rückschlüsse auf die Eigenschaften der hydrostratigraphischen Einheiten, z.B. hinsichtlich des Einflusses der ungesättigten Zone zu, und erlauben die Ausweisung von Bereichen, die eine einheitliche Reaktion auf Niederschlagsereignisse und/oder Luftdruckeinflüsse aufweisen.

O 4.10: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 13:45-14:00

Der Opalinuston in Baden-Württemberg – Oberflächennahe Untersuchung der Barriereeigenschaften

Uwe Hekel[1]

[1] *Niederlassung Rottenburg, HPC AG*
Kontakt: uwe.hekel@hpc.ag

Mächtige Tonsteinserien sind ein mögliches Wirtsgestein für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Schweizer Untersuchungen und Studien kommen zu dem Schluss, dass der Opalinuston gegenüber anderen in Frage kommenden Formationen sicherheitstechnisch-geologische Vorteile aufweist. Eine wichtige Rolle bei der Eignungsbewertung spielt die Tiefenabhängigkeit der Durchlässigkeit (NAGRA 2005).

Mit dem Forschungsprojekt "Gebirgseigenschaften mächtiger Tonsteinserien“ wurde der Opalinuston auch in Baden-Württemberg erstmalig systematisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass der Opalinuston in einer Auflockerungszone bis wenige 10er Meter Tiefe relativ stark geklüftet und damit durchlässig ist. In größerer Tiefe nimmt die Durchlässigkeit jedoch rasch auf Werte bis kleiner 10^{-11} m/s ab. In dieser dichteren Zone weist das Gestein in Übereinstimmung mit den Schweizer Untersuchungsergebnissen eine hohe Salinität auf. Dies ist ein Indiz dafür, dass der tiefere Opalinuston auch in geologischen Zeiträumen nicht wesentlich von Grundwasser durchströmt wurde. Damit wäre eine wesentliche Voraussetzung erfüllt, die an ein sicheres Tiefenlager zu stellen ist.

Die bei dem Forschungsprojekt gewonnenen Erfahrungen mit In-situ-Methoden zur Untersuchung geringer Durchlässigkeiten flossen u.a. in die Aktualisierung der GDA-Empfehlungen zur Deponiestandortuntersuchung ein (DGGT 2010).

Literatur

DGGT (2010): Empfehlung E 1-4 „Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit“ - Empfehlungen des AK 6.1 (Geotechnik der Deponiebauwerke) der Fachsektion 6 der Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

http://www.gdaonline.de/empfehlung.html

NAGRA (2005): Geologische Tiefenlagerung der abgebrannten Brennelemente, der hochaktiven und langlebigen mittelaktiven Abfälle – Darstellung und Beurteilung der aus sicherheitstechnisch-geologischer Sicht möglichen Wirtgesteine und Gebiete. – Technischer Bericht 05-02, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen

Poster

P 4.1

Variationsbreite der chemischen Zusammensetzung von Grundwässern im Kontakt zu Salzformationen

Elke Bozau[1], Ina Voss

[1] *Endlagerforschung/Hydrogeologie, TU Clausthal*
Kontakt: elke.bozau@tu-clausthal.de

Grundwasser, das in Kontakt zu Salzformationen steht, weist oft extrem hohe TDS-Gehalte auf. Es liegen z.T. gesättigte Lösungen mit TDS-Gehalten von mehr als 500 g/L vor. Nach Auswertung von zahlreichen, aus verschiedenen Publikationen gesammelten, weltweiten hydrochemischen Daten lassen sich diese Grundwässer anhand der Hauptkationen in drei Gruppen unterteilen (Bozau et al., 2015). Bei den im Wasser gelösten Hauptkationen handelt es sich um Na^+, K^+, Mg^{2+} und Ca^{2+}. Als dominierendes Kation tritt meist entweder Na^+, Mg^{2+} oder Ca^{2+} auf. K^+ liegt immer in geringeren Konzentrationen als die anderen Hauptkationen vor. Das dominierende Anion von Grundwässern, die mit Kontakt mit Salzablagerungen stehen, ist Cl^-. Untergeordnet tritt SO_4^{2-} auf. Bei den in der Abbildung gewählten Beispielen handelt es sich um in Bohn (2013) und Pinneker (1966) veröffentlichte Daten für folgende Grundwässer:

A Staßfurt, Messstelle 305 (Unterer Buntsandstein)

B Staßfurt, Messstelle GWE Stf 2 (Zechstein, Staßfurt-Serie)

C Lena-Angara-Becken, Bohrung „Balichtinskaja“ (Salzablagerungen, Kambrium)

Verantwortlich für die chemische Zusammensetzung der Grundwässer ist die Lösung verschiedener Salzmineralparagenesen. Andere Prozesse, wie z.B. eine Albitisierung, sind jedoch nicht auszuschließen. Bei der Betrachtung der Radionuklid-Mobilisierung aus in Salzstöcken errichteten Endlagern sollten neben den häufig untersuchten $MgCl^{2-}$ reichen, auch $CaCl^{2-}$ und NaCl-dominierte Lösungen/Wässer berücksichtigt werden.

Literatur

Bohn, A. (2013): Hydrogeochemische Analyse und Modellierung von Lösungs- und Reaktionsprozessen im Salinar- und Deckgebirge am Staßfurter Sattel. Dissertation, TU Cottbus-Senftenberg.

Bozau, E., Sattler, C.-D., van Berk, W. (2015): Hydrogeochemical classification of deep formation waters. Appl. Geochem. 52, 23-30.

Pinneker, E.V. (1966): Rassoli Angaro-Lenskogo artezijanskogo bassejna. Nauka, Moskva.

P 4.2

Hydrogeochemische Modellierungen zum Verhalten von Salzlösungen bei Abkühlung

Elke Bozau[1], Ina Voss, Kai Schmidt, Kurt Mengel

[1] *Endlagerforschung, TU Clausthal*
Kontakt: elke.bozau@tu-clausthal.de

Zur Erarbeitung detaillierter Szenarien für die Schadstoffausbreitung im Salinargebirge - als Teilaufgabe des Projektes ENTRIA (AP 5.3 „Numerische Modellierung von THMC-Prozessen“) - sind hydrogeochemische Modellierungen notwendig. Für die Berechnung ausgefallener Mineralmassen bei Abkühlung einer $MgCl_2$-reichen Lösung von 90 auf 20°C wurde das Programm PHREEQC (Parkhurst & Appelo, 1999) in Kombination mit der Datenbank „THEREDA_PIT_PHRC_r01“ (Altmaier et al., 2011) verwendet. Die Berechnung basiert auf der temperaturabhängigen Einstellung thermodynamischer Gleichgewichte bzgl. der betrachteten Salzphasen und den zugehörigen Gleichgewichtskonzentrationen der Lösungen. Die verwendete Datenbank kann von verschiedenen Programmen genutzt werden und wurde von Altmaier et al. (2011) getestet. Unterschiede bei der Berechnung von Gleichgewichtskonzentrationen und Ausfällungen für die Lösungszusammensetzung gemäß Paragenese Q und R des quinären Systems treten im Vergleich zu anderen Berechnungen (z.B. Braitsch, 1971; Usdowsky & Dietzel, 1998) bei Temperaturen von mehr als 55°C (siehe Abb. 1) und vor allem für Sulfat auf. Der Einfluss der Modellierungsergebnisse auf die Sicherheitsanalyse eines möglichen Endlagers im Salzgestein wird diskutiert. Dabei berücksichtigt werden u.a. zeitliche Temperaturänderungen im Endlager, der Zeitpunkt der Radionuklidfreisetzung, das Verhalten einzelner Radionuklide beim Einbau in ausfallende Salzminerale sowie unterschiedliche chemische Zusammensetzungen und Mengen von vorkommenden Salzlösungen.

Literatur

Braitsch, O. (1971): Salt deposits, their origin and composition. Springer.

Altmaier, M., et al. (2011): THEREDA, Thermodynamische Referenz-Datenbasis. GRS-265.

Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J. (1999): User's guide to PHREEQC (Version 2). US Geological Survey, Water Resources Investigations Report 99-4259.

Usdowski, E., Dietzel, M. (1998): Atlas and Data of Solid/Solution Equilibria of Marine Evaporites. Springer.

P 4.3

Hydrogeologische Fragestellungen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle

Anne Gehrke[1], Judith Flügge[1]

[1] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
Kontakt: anne.gehrke@grs.de

Hochradioaktive Abfälle sollen im tiefen geologischen Untergrund so gelagert werden, dass sie für einen Zeitraum von einer Million Jahren von der Biosphäre isoliert werden. In Langzeitsicherheitsanalysen für Endlager für radioaktive Abfälle werden unter anderem die Grundwasserströmung und der Radionuklidtransport durch die Geosphäre (Wirtsgesteinsformation und geologisches Deckgebirge) untersucht. Simulationsprogramme werden entwickelt, um die dichtegetriebene Strömung und den Transport von Schadstoffen durch sehr große, heterogene, poröse und/oder geklüftete Medien über sehr lange Zeiträume zu modellieren. Die Finite-Volumen-Codes d^3f (distributed, density-driven flow) und r^3t (radionuclides, reaction, retardation, and transport) sind speziell für die hydrogeolgischen Fragestellungen und Anforderungen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle entwickelt worden und dienen der Modellierung des Fernfeldes. Im Gegensatz dazu wird das Programmsystem RepoTREND für die Modellierung des gesamten Ausbreitungspfades von Schadstoffen vom Einlagerungsort bis in die Biosphäre herangezogen.

In der Präsentation werden Grundlagen der Endlagerung radioaktiver Abfälle einleitend kurz beschrieben. Im Anschluss daran werden einige hydrogeologische Fragestellungen detaillierter vorgestellt und anhand von aktuellen Projekten der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit die Herangehensweise und Lösungsansätze präsentiert.

P 4.4

Endlagerwissen, Endlagersuche, Endlagerforschung: wohltuende Entkopplung

Julia Ghergut[1]

[1] Univ. Göttingen, Angewandte Geologie
Kontakt: iulia.ghergut@geo.uni-goettingen.de

Am Stammtisch spottet man gern (Q: Wie lange dürfen wir Sr-Sorption am Kaolinit noch erforschen? A: Ein Vierteljahrhundert habt Ihr schon, 4 Jahre dürft Ihr noch, bis sich der Forschungsetat halbiert. Oder: Gut, dass nun Gott zuständig ist! Katholiken goutieren Salz, Protestanten rufen Ton). Aber die Sache hat einen guten Kern: Die Entkopplung zwischen Endlagersuche und -wissen erweist sich als fruchtbar für die Geowissenschaft. Denn Kriterien

für die Besteignung eines Standorts wird die Wissenschaft nie liefern, sondern nur für Eignung schlechthin (Bestes bleibt Theologiesache). Dabei ist es keine triviale Aufgabe, mit Eignungskriterien jenes klare Bild zu zeichnen, das Teile der Öffentlichkeit und Behörden verlangen. Dass dies dennoch gelingen kann, zeigen woanders die Geodialogergebnisse (Sauter & Joswig 2012), und im Endlagerfach selbst die vorliegenden Erkenntnisse über Salzformationen (wohl zum Unmut des Steuerzahlers: Was denn ist da noch zu forschen?). Tonstein ist allerdings ein komplexeres Objekt, da selbst als Strömungs-/Transportmedium, Ionen-/Klüfte-/Partikelfabrik wirksam, in nicht so wohlsortierten Raumzeitskalen. Was für Endlager im Salz die Salzplastizität tut, soll im Ton die Verheilung induzierter Klüfte leisten; ob überhaupt, wie gut, wie schnell ist in der Tat (mehr als bei Salzformationen) standortabhängig, und die maßgebenden Prozesse nicht so einfach vorhersagbar - Prozesse übrigens, für die bei anderen tonhaltigen Georeservoiraufgaben Prognosefähigkeit noch dringender benötigt wird, als zur Endlagerfindung.

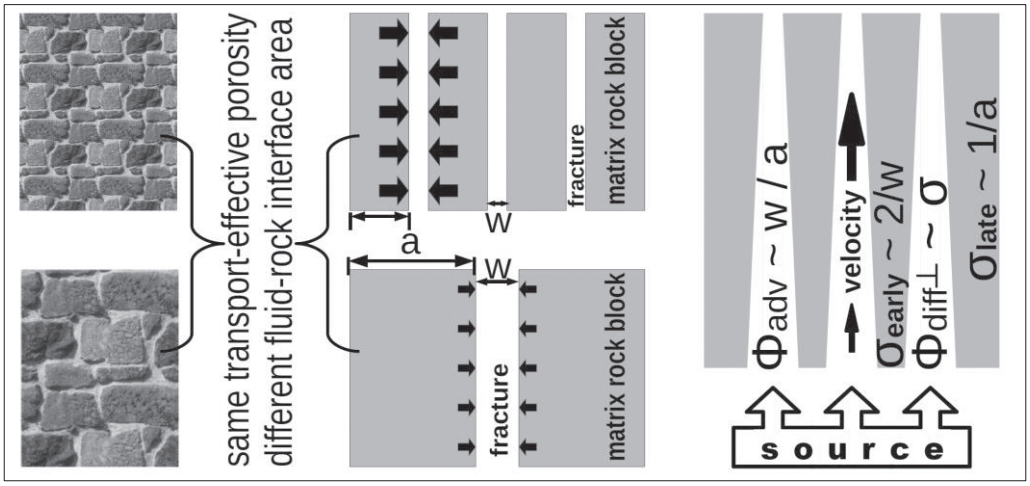


Abb. 1: Simpelst-anmutende Prognoseaufgaben, etwa für uniforme Kluftverteilungen: immer noch nicht effizient gelöst, wenn Reaktivtransport ins Spiel kommt.

Das Poster erinnert im historisch-unsystematischen Streifzug vier Meilensteine in Hydrometrie, -geologie, Geothermie (Behrens 1983, Kolditz 1997) einer nachhaltigen Befruchtung der Geowissenschaft durch die Endlagerforschung, und umreißt zwei weitere, die die Erforschung gekoppelter THMCB-Prozesse im Tonstein noch liefern kann. Das von T. Schäfer (2012) formulierte Programm signalisiert bereits in seinen übergeordneten Stichworten (anthropogeninduzierte Gradienten in geringpermeablem Gestein) einerseits den generischen Anspruch der geforderten Forschungsleistung, andererseits ihren speziellen Mehrwert für weitere Aufgaben bei Erschließung und Bewirtschaftung nicht-/fossiler Energieressourcen und tiefer Untergrundräume. Offene Flanke sind wiederum Standortcharakterisierung, Prozesslokalisieung und -monitoring, da das hydrogeologische Methodenarsenal (Hydraulik, Tracer) kaum im systemrelevanten Maßstab (bis Störungszone/Erdoberfläche) anwendbar, und für Ortungsaufgaben oder

ein Realzeitmonitoring der Bildung/Alteration von Klüften ohnehin ungeeignet ist. Speziellen geophysikalischen Ansätzen (Joswig 1990, 2008) kommt somit eine vierfache Schlüsselrolle zu: bei Standortsuche, Prozessidentifikation u. -ortung, Systemmonitoring.

Literatur

Sauter, M.; Joswig, M. (2012): Generische Charakterisierung und Modellierung; und weitere Beiträge. – In: Informations- und Dialogprozess über die Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Frackingtechnologie für die Erdgasgewinnung.

Behrens, H. (1983): Comparison of radioactive and non-radioactive tracers. – In: IAEA TEC-DOC-219: 173-185; Vienna.

Kolditz, O. (1997): Strömung, Stoff- und Wärmetransport im Kluftgstein. – Gebr. Borntraeger; Berlin Stuttgart.

Joswig, M. (1990): Pattern recognition for earthquake detection. – Bull. Seism. Soc. Am., 80: 170-186.

Joswig, M. (2008): Nanoseismic monitoring fills the gap between microseismic networks and passive seismic. – First Break, 26: 117-124.

P 4.5

Grundwasserversalzung – Neue Methoden zur Bestimmung der Süß/Salzwassergrenze bis 200 m Tiefe

Rainer Herd[1], Wlad Schafrik[1]

[1] *LS Rohstoff- und Ressourcenwirtschaft, Brandenburgische Technische Universität*
Kontakt: herd@b-tu.de

Die Versalzung von Grundwasser, insbesondere die Versalzung von zur Gewinnung von Brauch- und Trinkwasser genutzten Aquiferen stellt vielerorts weltweit ein Problem dar. Die Gründe für die Intrusion von salinen Wässern in Süßwasseraquifere sind vielfältig, sowohl natürliche als auch anthropogene Einflüsse kommen bekanntlich in Betracht. Für die Planung und den Betrieb von Trink- und Brauchwassergewinnungsanlagen, Endlagern und Deponien sind Kenntnisse zur Verbreitung von Salzwasservorkommen sowie die Tiefenlage der Salz/Süßwassergrenze wichtig. An der BTU wurde in den letzten Jahren ein Verfahren („ER-TEM“) entwickelt, das eine Erkundung/Detektion von Salzwasservorkommen bzw. der Salz/Süßwassergrenze bis in eine Tiefe von 200 m erlaubt. Es handelt sich hierbei um eine Kombination von geoelektrischer Widerstandstomographie mit großen Elektrodenabständen und einer Multifrequenz-Elektromagnetik. Während der Untersuchung übernimmt das geoelektrischen Verfahren die oberflächennahe Erkundung und liefert die Widerstandsverteilung für die Startmodelle der Inversion der elektromagnetischen Daten. Das elektromagnetische Verfahren übernimmt als Induktionsverfahren die Erkundung des größeren Tiefenbereichs. Es hat sich gezeigt, dass auch ohne das Vorhandensein von Stützstellen (Bohrungen) plausible Untergrundmodelle entwickelt werden können. An einem Standort im Süden Brandenburgs werden exemplarisch die Leistungsfähigkeit des Verfahrens vorgestellt sowie die Grenzen der Methode diskutiert.

P 4.6

Auswirkung stark salzhaltiger Grubenwässer auf die Schwermetallmobilität untertage verbrachter nichtnuklearen Reststoffe

Timm Reisinger[1], Christian Heck, Thomas Rüde

[1] *Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, RWTH-Aachen*
Kontakt: reisinger@hydro.rwth-aachen.de

Der Versatz mit bergbaufremden Abfällen erfolgte im Ruhrgebiet im Wesentlichen in der Zeit von Mitte der 1980er-Jahre bis 2006. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum rund 1,6 Mio. t bergbaufremder Abfälle in elf Steinkohlebergwerken eingelagert, 578.000 t seien nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses mindestens 800 m tief unter der Erde eingelagert worden.

Für den Fall eines Grubenwasserwiederanstiegs sind durch den Kontakt der Wässer mit den untertägig verbrachten Reststoffen chemische Veränderungen der Grundwässer und Stofftransporte aus den Reststoffen in die angrenzenden Grundwasserleiter zu besorgen. Daher wurden Säulenversuche mit zerkleinertem und dicht eingebautem Ruhrsandstein karbonischen Alters als typischem Lagerstättengestein durchgeführt. Die Säulen wurden von Reinstwasser durchflossen, in das für die Reststoffe charakteristische Schwermetalle gelöst wurden. Das Hauptaugenmerk lag bei der durch hohe Salzgehalte verursachten Mobilität der Schwermetalle Cadmium (Cd), Blei (Pb) und Zink (Zn).

Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, bei der ersten wurde zunächst kein NaCl hinzugefügt und das System lief mit Durchlässigkeitsbeiwerten von 1,3 bis 1,8 * 10^{-6} m s^{-1}, bis die Ausgangskonzentration der Schwermetalle von 50 mg L^{-1} Pb, 15 mg L^{-1} Zn und 28 mg L^{-1} Cd erreicht wurde. Dann wurde NaCl mit einer Konzentration von 10 g L^{-1} hinzugefügt und diese in einem zweiten Schritt nach zwei Tagen und sechs Stunden auf 100 g L^{-1} erhöht. In der zweiten Versuchsreihe wurden die drei Versuchsschritte umgekehrt gefahren. Zur Aufzeichnung des Stoffverhaltens wurden an den Säulen mehrere kleine Beprobungshähne und eine Kamera installiert.

Eine Erhöhung der Ionenstärke, verursacht durch das Salz NaCl, führt zu einer höheren Mobilität der Schwermetalle und zu einer Freisetzung bereits an der Feststoffphase adsorbierter Metalle. Nach dem Erreichen der Ausgangskonzentration und der Zugabe von NaCl (10 g L^{-1}) stiegen die Metallkonzentrationen um ein Vielfaches an, bevor sie wieder auf die Ausgangskonzentrationen absanken, wobei eine zusätzliche Erhöhung der Salzkonzentration (100 g L^{-1}) zu einem weiteren Anstieg der Metallkonzentrationen über die Ausgangskonzentration hinaus im Ausfluss führte. Die Experimente zeigen unter den salinaren Verhältnissen im Ruhrkarbon eine konservative Tracerausbreitung von Cd und Zn. Im Gegensatz dazu wird Pb unter diesen Bedingungen etwas verzögert durch die Säulen transportiert. Der Hauptmechanismus, der die Pb-, Cd- und Zn-Mobilität regelt, ist die Komplexbildungskapazität von Chlorid abgeleiteten

Anionen mit Schwermetallen (Chlorokomplexe). Weiterhin könnte die Konkurrenz mit Na^+ um die Sorptionsplätze an der Feststoffphase ein Faktor für eine höhere Mobilität sein.

Die in den Säulenversuchen erlangten Erkenntnisse dienen als Basis für zukünftige Versuche an einem Einzelkluft-Versuchsaufbau. Hydrochemische Modellierungen der beiden Versuche werden das aus den Experimenten gewonnene Systemverständnis weiter vertiefen.

P 4.7

Mineral Precipitation-induced Pore Clogging and its Effect on Transport Parameters in Diffusion-controlled Porous Media

Thorsten Schäfer[1], Aurélie Chagneau[1], Francis Claret[2], Frieder Enzmann[3], Michael Kersten[3], Benoit Madé[4]

[1] *Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*
[2] *Water and Environment division, French Geological Survey (BRGM), Orléans, France*
[3] *Department of Geosciences, Johannes Gutenberg University, Mainz, Germany*
[4] *French Agency for Nuclear Wastes Management (ANDRA), Châtenay-Malabry, France*
Kontakt: thorsten.schaefer@kit.edu

In geochemically perturbed systems due to porewater disequilibrium mineral precipitation/ dissolution might be induced which could possibly change the transport properties as porosity and pore diffusion coefficient. These reactions might alter the sealing capabilities of the rock by complete pore-scale precipitation (cementation) of the system or by opening new migration pathways through mineral dissolution. In actual 1D continuum reactive transport codes the coupling of transport and porosity is generally accomplished through the empirical Archie's law. Experimental data on its general applicability for systems changing the porosity under well controlled conditions to constrain model input parameters to a maximum possible are rarely documented. In this study, celestite ($SrSO_4$) was precipitated in the pore space of a compacted sand column under diffusion-controlled conditions and the effect on the fluid migration properties investigated by means of three complementary experimental approaches: (Chagneau et al. 2015a) tritiated water (HTO) tracer through diffusion, (Chagneau et al. 2015b) computed micro-tomography (µ-CT) imaging and (3) post-mortem analysis of the precipitate (selective dissolution, SEM/EDX).

The through-diffusion experiments reached steady state after 15 days, at which point celestite precipitation ceased and the non-reactive HTO flux became constant. The pore space in the precipitation zone remained fully connected under the 6µm µ-CT spatial resolution with 25% porosity reduction in the approx. 0.35 mm thick dense precipitation zone. The porosity and transport parameters prior to pore-scale precipitation were in good agreement with a porosity of 0.42 ± 0.09 (HTO) and 0.40 ± 0.03 (µ-CT), as was the mass of $SrSO_4$ precipitate estimated by µ-CT with 25 ± 5 mg and selective dissolution 21.7 ± 0.4 mg, respectively. However, using the experimentally derived data as input parameters, the 1D continuum reactive transport

model that assumed the direct linkage of porosity to the effective diffusivity via one cementation factor valid over the whole porosity variation range of the system investigated was not able to accurately reproduce both the celestite precipitation front and the remaining connected porosity.

The 1D continuous model either underestimated the remaining connected porosity in the precipitation zone, or overestimated the amount of precipitate to provide a best fit of the experimental data. These findings support the need to implement a modified, extended Archie's law to the reactive transport model and show that pore-scale precipitation transforms a system (following Archie's simple power law with only micropores present) towards a system similar to clays with micro- and nanoporosity.

References

Chagneau, A.; Tournassat, C.; Steefel, C. I.; Bourg, I. C.; Gaboreau, S.; Esteve, I.; Kupcik, T.; Claret, F.; Schäfer, T. (2015a): Complete Restriction of $^{36}Cl–$ Diffusion by Celestite Precipitation in Densely Compacted Illite. Environmental Science & Technology Letters, 2, (5), 139-143.

Chagneau, A.; Claret, F.; Enzmann, F.; Kersten, M.; Heck, S.; Made, B.; Schafer, T. (2015b): Mineral precipitation-induced porosity reduction and its effect on transport parameters in diffusion-controlled porous media. Geochem Trans, 16, (13), 015-0027.

P 4.8

Particle retention on granite as a function of residence time and particle size using a synthetic fracture flow cell

Madeleine Stoll[1], Florian Huber, Gopala Darbha, Eva Schill, Thorsten Schäfer

[1] *Institute for Nuclear Waste Disposal, Karlsruhe Institute of Technology*
Kontakt: madeleine.stoll@kit.edu

The interaction of monodisperse fluorescent carboxylated polystyrene particles (25 nm and 1000 nm in diameter) with a cut granite surface (Grimsel granodiorite; Switzerland, (Schäfer et al. 2012) and with acrylic glass is investigated both experimentally and numerically focusing on the effect of residence time, colloid size, collector material and fracture orientation on particle retention. Long particle residence time between 1 h and 24 h are accomplished by stop-flow experiments. Additionally to the colloid experiments, conservative solute tracer (Amino-G) experiments are performed to characterize the flow and transport conditions. A cylindrical parallel plate type fracture flow cell (diameter 38 mm; aperture 0.75 mm) has been designed for the transport experiments. The artificial fracture of the flow cell is sandwiched between the acrylic glass and/or the granite. At the flow cell outlet the breakthrough curves are obtained continuously by means of fluorescence spectroscopy. All experiments are conducted at pH 5 under low ionic strength (1 mM NaCl). Using colloid probe technique and atomic force microscopy (AFM) special surface information of the granite and acrylic glass discs are obtained in dependence of the particle size attached to the cantilever. Results show earlier first arrivals

and more pronounced tailings in the measured breakthrough curves for both colloid types compared to the conservative tracer. A positive correlation between residence time and particle retention is observed in all experiments. Using 1000 nm particles, the results show that the fracture material has no significant effect on particle retention. For the same fracture orientation the increase in particle retention is similar for both acrylic glass and granite disc. However, in experiments with a horizontal fracture orientation the particle retention is higher than in experiments with vertical orientation. In contrast to that, results of experiments using 25 nm particles show an effect of the collector surface material on particle retention and no effect of fracture orientation, respectively. The increase of particle retention with time was higher in experiments with inserted granite disc than with inserted acrylic glass disc. These findings lead to the assumption that the 1000 nm particles undergo sedimentation and are not affected by the existent surface roughness due to the bigger particle size. On the contrary, 25 nm particles will not undergo sedimentation within 24 h but they are affected by surface inhomogeneity, such as surface roughness. For example, an increased roughness will direct enhance diffusivity of the smaller particles (25 nm) into scratches or cracks on granite/acrylic glass surface compared to bigger particle sizes (1000 nm). These experimental findings are corroborated by the results of AFM measurements and by 2-D numerical simulations using the software COMSOL Multiphysics®.

References

Schäfer, Huber, Seher, Missana, Alonso, Kumke, Eidner, Claret, Enzmann (2012): Appl. Geochem. 27(2), 390.

P 4.9

Systematische Untersuchungen zur Setup-Optimierung von „Push-Pull"-Tracer Tests

Sarah Zeilfelder[1], Klaus Hebig[1], Narimitsu Ito[2], Isao Machida[3], Atsunao Marui[3], Traugott Scheytt[1]

[1] *Technische Universität Berlin, Department of Applied Geosciences, Hydrogeology Research Group, Ernst-Reuter-Platz 1, 10587 Berlin*
[2] *NEWJEC Inc., 5-7 Kameido 1-chome, Koto-ku, 136-0071, Tokyo, Japan*
[3] *AIST, Geological Survey of Japan, Groundwater Research Group, Chuo 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan*
Kontakt: sarah.zeilfelder@tu-berlin.de

In Grundwasserleitern mit geringen Fließgeschwindigkeiten oder einer geringen Bohrloch- bzw. Messstellendichte sind klassische Tracertests nur mit einem hohen Zeitaufwand durchführbar oder gänzlich ausgeschlossen.

An diesen Standorten stellt der „Push-Pull" Test eine geeignete Alternative zum klassischen Tracertest dar, um den Grundwasserleiter hydrochemisch zu untersuchen und das Fließverhalten zu charakterisieren. Der „Push-Pull" Test findet insbesondere zur Untersuchung

hydrochemischer Prozesse im Grundwasserleiter (Geothermie, Aquifer Storage and Recovery, Endlagerforschung), aber auch als „Partitioning Test“ zur Untersuchung von Kontaminationsfällen eine sinnvolle Anwendung.

Bei einem „Push-Pull“ Test wird eine Testlösung mit einem konservativem Tracer und einem bekannten Lösungsinhalt in den Grundwasserleiter injiziert („Push-Phase“) und wieder extrahiert („Pull-Phase“). Optional wird die Testlösung direkt nach der Injektion mit Hilfe eines „Chasers“ aus dem Testsystem, dem Bohrloch und der Verfilterung gespült. Abhängig von der Zielstellung wird zusätzlich eine Reaktionszeit oder Driftphase eingeplant, bevor die Testlösung wieder zurückgepumpt wird. Die Durchbruchskurven des Tracers und der Komponenten aus der Extraktionsphase dienen der Auswertung und Interpretation.

Der Forschungsstandort Hamasato befindet sich in der Nähe der Stadt Horonobe im Nordwesten Hokkaidos (Japan). Der untersuchte Grundwasserleiter besteht aus unverfestigtem heterogenem Lockergestein und wurde in einer Tiefe von ca. 100 m abgepackert. Es wurden sieben „Push-Pull“ Tests mit fünf verschiedenen Konfigurationen durchgeführt, die sich voneinander in jeweils einem Aspekt unterscheiden. Ziel war es, Änderungen in den Ergebnissen systematisch mit der Konfiguration des jeweiligen Tests zu korrelieren. Die Tests unterscheiden sich voneinander in Pumprate, chemischer Zusammensetzung der Testlösung, sowie der Einsparung der Chaser-Injektion. Die Durchbruchskurven der Tests zeigen eine gute Anwendbarkeit der Methode und haben einen ähnlichen Verlauf im Bereich des Tailings.

Während der Tracerpeak sowie die Massenbilanz/Wiederfindung des Uranins relativ stark von der Mineralisation der Testlösung abhängig sind und zwischen ca. 65% und 85% schwanken, beeinflusst die Pumprate den Massenschwerpunkt der Tracerwolke. Insgesamt zeigt sich, dass sowohl die chemische Zusammensetzung der Testlösung, als auch die Pumprate höchst sensitive Parameter sind, die je nach Standort und Zielstellung des Tests neu angepasst werden müssen.

5 Tiefe Reservoire – Synergien und Nutzungskonflikte

Vorträge

O 5.1: Audimax B, Geb. 30.95, 16.04.2016, 09:45-10:00

Auswirkungen der Nutzung des geologischen Untergrundes als thermischer, elektrischer oder stofflicher Speicher im Kontext der Energiewende – Dimensionierung, Risikoanalysen und Auswirkungsprognosen

Sebastian Bauer[1], Christof Beyer[1], Jens Delfs[1], Frank Dethlefsen[1], Peter Dietrich[2], Rainer Duttmann[3], Markus Ebert[1], Uwe Görke[2], Ralf Köber[1], Olaf Kolditz[2], Diethardt König[4], Wolfgang Rabbel[1], Dirk Schäfer[1], Hilke Würdemann[5], Andreas Dahmke[1]

[1] *Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
[2] *Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ GmbH*
[3] *Geographisches Institut, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*
[4] *Lehrstuhl für Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Ruhr-Universität Bochum*
[5] *Helmholtz Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungszentrum GFZ GmbH*
Kontakt: sebastian.bauer@gpi.uni-kiel.de

Für die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energiequellen im Zuge der Energiewende werden neue Methoden und Technologien zur Energiespeicherung benötigt. Untertägige Speichersysteme wie z.B. Salzkavernen zur Speicherung von Wasserstoff, synthetischem Methan oder Druckluft sowie poröse Formationen zur Speicherung von Wärme und Gasen können potentiell große Speicherkapazitäten ermöglichen. Zur Nutzung dieser Systeme ist ein angemessenes System- und Prozessverständnis erforderlich, um die gekoppelt ablaufenden Prozesse und die z.T. komplexen Auswirkungen auf Schutzgüter wie z.B. das Grundwasser vorhersagen zu können. Dieses Prozessverständnis ist die Basis für eine Bewertung der Potentiale und Risiken, die mit diesen Speicheroptionen verbunden sind, wobei insbesondere mögliche Interaktionen der verschiedenen Speicher zu berücksichtigen sind.

Das Projekt ANGUS+ hat daher zum Ziel, dieses Verständnis zu entwickeln und in eine Methodik zur Bewertung von untertägigen Speicherungen zu überführen. Dafür werden die induzierten Prozesse und Auswirkungen anhand synthetischer, jedoch möglichst realistischer, Szenariensimulationen der einzelnen Speicheroptionen nachgebildet. Die Parametrisierung der entsprechenden geologischen Formationen und der ablaufenden Prozesse wird durch Literaturdaten sowie eigene Messungen im Projekt bei bestehenden Datenlücken entwickelt und

bereitgestellt. Zur Abbildung der Speicherprozesse und zur Auswirkungsanalyse werden numerische Simulationswerkzeuge entwickelt, die die gekoppelten thermischen, hydraulischen, mechanischen und geochemischen Prozesse bei den betrachteten Speicheroptionen simulieren und prognostizieren können. Anhand der ausgeführten Szenarien können dann die Speicheroptionen und Speicherkapazitäten quantifiziert, die induzierten Effekte beschrieben und Monitoringstrategien entwickelt bzw. verifiziert werden.

In diesem Vortrag wird diese Herangehensweise an zwei Beispielen demonstriert. Zum einen wird eine Wasserstoffspeicherung in einem porösen Sandstein in einer für Norddeutschland typischen Antiklinalstruktur betrachtet. Hierzu werden zunächst die notwendige Speichergröße und Speicherraten ermittelt, die bei starker Reduktion der erneuerbaren Energieproduktion notwendig werden, und diese dann für den Speicher umgesetzt. Nach Bestimmung der nutzbaren Kapazität werden die induzierten hydraulischen, thermischen und geochemischen Auswirkungen quantifiziert, um so die Raumnutzung dieser Speicheroption zu bestimmen. Als zweites Beispiel wird die Wärmespeicherung anhand von Erdwärmesonden auf der Skala von großen technischen Anlagen bzw. Stadtteilen untersucht. Anhand eines Standortes mit 50 Erdwärmesonden werden die Speichercharakteristiken sowie die zu erwartenden Auswirkungen durch numerische Simulation bestimmt.

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.

Bauer S, Pfeiffer T, Boockmeyer A, Dahmke A & Beyer C (2015): Quantifying Induced Effects of Subsurface Renewable Energy Storage. Energy Procedia, 76, 633–641. doi:10.1016/j.egypro.2015.07.885.

Dethlefsen F, Ebert M & Dahmke A (2014): A geological database for parameterization in numerical modeling of subsurface storage in northern Germany. Environmental Earth Sciences, 71(5), 2227–2244. doi:10.1007/s12665-013-2627-1.

O 5.2: Audimax B, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:00-10:15

Einflussfaktoren zur Tiefenverteilung der Permeabilität im kristallinen Grundgebirge bis in 2000 m Tiefe – Beispiele aus Mittel- und Nordeuropa

Peter Achtziger-Zupančič[1], Simon Löw[1]

[1] *Chair of Engineeringgeology, ETH Zürich*
Kontakt: peter.achtziger@erdw.ethz.ch

Das Verstehen und die Vorhersage der Verteilung hydraulischer Eigenschaften im geklüfteten, kristallinen Grundgebirge hat in verschiedensten Anwendungsgebieten eine grosse praktische und ökonomische Bedeutung, so z.B. für die hydrothermale und petrothermale Energiegewinnung, die Endlagerung und Tiefendeponien, oder den Berg- und Untertagebau. In den letzten Jahrzehnten wurden von verschiedenen Autoren Tiefentrendkurven für die Verteilung der

Permeabilität erstellt, deren Prognosefähigkeit jedoch örtlich und kontextuell beschränkt waren, falls diese überhaupt eine grosse Aussagekraft beinhalteten.

Basierend auf veröffentlichten und unveröffentlichten Studien haben wir eine weltweite Datenbank der Permeabilität des Kristallins bis in 2000 m Teufe mit mehr als 30‘000 Datenpunkten aus über 100 Ländern angelegt. Soweit die Daten nicht als Permeabilität vorliegen, wurden sie unter der Annahme hydrostatischen Drucks und gesättigter Verhältnisse sowie unter Verwendung gemessener oder angenommener thermaler Gradienten aus hydraulischen Durchlässigkeiten abgeschätzt. Daten unterschiedlicher Versuchsaufbauten, wie Bohrloch- (Lugeon/WD-Test, Packer-, Auslaufversuche und Differenzflussmessungen), Brunnen-, Markierungs- und Ventilationsversuche sowie Abschätzungen von Permeabilitäten aus Tunnelzuflüssen und Modellrechnungen im regionalen Skalenbereich wurden separiert und verglichen. Für die verschiedenen Regionen wurde das tektonische Regime während der Bruchbildung wie auch der aktuelle Spannungszustand aus Publikationen respektive der World-Stress-Map abgeleitet (Heidbach et al., 2010) . Zur Bestimmung der rezenten tektonischen Aktivität wurden die seismische Aktivität (Grunthal et al., 1999) sowie jüngere Hebungs- bzw. Senkungsraten (z.B. Frischbutter & Schwab (2001)) als Proxy verwendet.

In diesem Beitrag werden Permeabilitätstrends der Alpen mit jenen des Schwarzwaldes, des Bayrischen Waldes, des Erzgebirges, des Molassebeckens und des Skandinavischen Schildes verglichen und die Einflüsse von Lithologie, der tektonischen Geschichte, des rezenten Spannungsfeldes sowie der rezenten geologischen Aktivität statistisch untersucht. Zusätzlich werden Skalenabhängigkeiten der Permeabilität und der Einfluss des Testtyps besprochen.

Literatur

Frischbutter, A., Schwab, G. (2001): Recent vertical movements (mm/a) - IGCP Project Nr. 346 "Neogeodynamica Baltica", Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, p. Supplement.

Grunthal, G., Bosse, C., Sellami, S., Mayer-Rosa, D., Giardini, D. (1999): Compilation of the GSHAP regional seismic hazard for Europe, Africa and the Middle East. Annali Di Geofisica 42, 1215-+.

Heidbach, O., Tingay, M., Barth, A., Reinecker, J., Kurfess, D., Muller, B. (2010): Global crustal stress pattern based on the World Stress Map database release 2008. Tectonophysics 482, 3-15.

O 5.3: Audimax B, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:15-10:30

An integrated study of geological and geophysical analysis to better characterize the mechanical behavior of a geothermal reservoir during hydraulic stimulation

David Sahara[1], Thomas Kohl

1 Karsruhe Institute of Technology
Kontakt: david.sahara@kit.edu

The Enhanced Geothermal System (EGS) program of Soultz-sous-Forêts is circulated around three wells (GPK2, GPK3 and GPK4) drilled to a depth of about 5000 m. Hydraulic stimulations were performed in order to increase the permeability of the reservoir of the reservoir and the connectivity among the wells. The stimulation of GPK4 was carried out in two stages, in September 2004 and in February 2005, followed by an acidification test performed in March 2005. In this work we characterize the reservoir section based on integrated geological and geophysical information, i.e. breakout heterogeneity, clay content, cutting analysis, slip tendency. Two zones which have different lithology, fracture and breakout density are presented. The microseismic events distribution also support this zonation. Though the flow log test shows comparable amount of water entering both zones, 85% of the events are occurred in the lower part of the reservoir. The microseismic distribution infer that the fracture network in the lower part are more critically stressed, hence, it is easier to reactivate those fractures. This hypothesis is supported by the slip tendency analysis which shows that the lower reservoir has higher value of slip tendency for both small and major fractures. Furthermore, the density of the fractures are higher in the lower part of the reservoir. The microseismic events are concentrated in one fault intersected the well at depth of around 4750 m TVD. The high clay content observes in this fault core give us a hint that the major energy is released through creeping mechanism, hence only relatively low number of events are observed during this simulation, compare to the other wells simulation. All of the results presented in this study show us that the analysis of integrated geophysical and geological data collected from log data could provide us some essential information about the reservoir characteristic. This information could be very useful for the reservoir engineering in order to better investigate the risk and the success ratio of a hydraulic stimulation beforehand.

O 5.4: Audimax B, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:30-10:45

Combining Experiments and Simulations to tackle Hydro-Mechanically Coupled Processes in Natural Fractures

Daniel Vogler[1], Florian Amann[1], Peter Bayer[1], Derek Elsworth[2]

[1] *ETHZ*

[2] *Pennsylvania State University*

Kontakt: Daniel.vogler@erdw.ethz.ch

Enhanced geothermal reservoirs rely on sufficient flow production rates to ensure economic feasability. Deep geothermal reservoir sites, for example in granite, permeability in fractures and fracture networks is orders of magnitude larger than in intact rock. This stresses the importance to study qualitative trends of permeability response to stress changes in reservoirs and attempt to quantify flow magnitudes in natural fractures as well. Our work focusses on experiments and numerical simulations of Hydro-Mechanical processes in heterogeneous fractures. In detail, permeability responses to cyclic confining pressures on natural granite fractures are

presented. The results give insight into flow field evolution during changes in normal stress and the relationship of hydraulic and mechanic aperture. Analysis of fracture surfaces and surface damage during testing and gauge material production allow to relate these effects to permeability evolution. Numerical results of Hydro-Mechanical simulations of the tested samples are also presented.

O 5.5: Audimax B, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:45-11:00

CT-basierte numerische Simulationen druckabhängiger Fluidflüsse in einem geklüfteten porösen Sandstein

Tobias Kling[1], Da Huo[2], Jens-Oliver Schwarz[3], Sally Benson[2], Frieder Enzmann[4], Philipp Blum[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW), Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20b, 76131 Karlsruhe*

[2] *School of Earth Sciences, Stanford University, 397 Panama Mall, Mitchell Building 101, Stanford (Kalifornien)*

[3] *Math2Market GmbH, Huberstraße 7, 67657 Kaiserslautern*

[4] *Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg Universität Mainz (JGU), J.-J.-Becher-Weg 21, 55128 Mainz*

Kontakt: tobias.kling@kit.edu

Gekoppelte Prozesse in Klüften und deren Auswirkung auf die hydraulischen Eigenschaften in Reservoirgesteinen spielen eine wichtige Rolle in der tiefen Geothermie, in der Endlagerforschung und in der Exploration von Kohlenwasserstoffen. Ein großer Unsicherheitsfaktor bei der numerischen Simulation des Fluidtransfers in Klüften stellt für gewöhnlich die naturgetreue Abbildung prozessbedingter Änderungen der Kluftgeometrie dar.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Validierung eines druckabhängigen, einphasigen Fluidflusses eines Durchflussexperiments mithilfe numerischer Simulationen und auf Computertomographie (CT) basierenden Geometriedaten. Hierfür wurde die Permeabilität einer geklüfteten, gering-permeablen Sandsteinprobe unter stufenweiser Belastung (0,7 MPa bis 22,1 MPa) und entsprechender Entlastung experimentell bestimmt. Zeitgleich zu jeder Druckstufe erfolgte eine Abbildung der Kernprobe mit Hilfe eines medizinischen CT mit einer Voxelauflösung von $0{,}5 \times 0{,}5 \times 1{,}0$ mm³. Anschließend wurden die detektierten Dichtekontraste in geeignete Geometrien zur Durchführung der Simulation überführt. Die Realisierung der Simulation erfolgte mittels einer Finite-Volumen-Methode zur Lösung der Navier-Stokes/Brinkman-Gleichung.

Die Simulationen erwiesen sich als qualitativ plausibel, zeigten jedoch deutliche quantitative Abweichungen zwischen experimentell ermittelten und simulierten Permeabilitäten. Die Visualisierung der Simulationen zeigte ein signifikantes „flow channeling"-Verhalten entlang weniger bevorzugter Fließwege mit gering ausgeprägter Tortuosität. Druckbedingte Änderungen in der Permeabilität konnten temporären und permanenten Änderungen innerhalb der Kluft zugeordnet werden. Des Weiteren integriert der Simulationsansatz auch Kluft-Matrix-

Interaktionen und Permeabilitäts-Anisotropien innerhalb der Matrix. Letztere stehen hierbei deutlich in Zusammenhang mit Schichten höherer Porosität, in welchen auch druckinduzierte Schließungs- und Öffnungsprozesse beobachtet wurden. Die Abweichungen der quantitativen Ergebnisse waren hierbei deutlich abhängig Bildrauschen der CT-Scans. Trotz Qualitätsverbesserung durch die Mittelung multipler Scans verbleibt, bedingt durch den experimentellen Aufbau, ein Restrauschen von durchschnittlich ± 17,7 HU. Eine Korrektur der einzelnen Voxel auf Basis dieser Unsicherheiten und unter Annahme eines homogenen Matrixmaterials (CT_{mat} = 1862,6 HU), zeigte eine deutliche Sensitivität der Simulationen (z.B. 2,6-fache Erhöhung der simulierten Permeabilität bei einer Bildkorrektur von +17,7 HU). Basierend auf unseren Beobachtungen und unter Berücksichtigung ähnlicher Studien (Watanabe et al., 2011), konnten mehrere Empfehlungen für zukünftige Studien entwickelt werden, welche eine Verbesserung der CT-Bildqualität, Modelqualität und qualitative Validierung der Fließprozesse ermöglichen.

Literatur

Watanabe, N., Ishibashi, T., Ohsaki, Y., Tsuchiya, Y., Tamagawa, T., Hirano, N., Okabe, H., & Tsuchiya, N. (2011): X-ray CT based numerical analysis of fracture flow for core samples under various confining pressures. - Eng. Geol., 123: 338-346.

O 5.6: Audimax B, Geb. 30.95, 16.04.2016, 11:00-11:15

Permeabilitätsveränderungen während der Durchströmung – provozierte Mineralausfällungen in porösen Medien

Pia Orywall[1], Dietmar Kuhn[1], Thomas Kohl[2]

[1] *KIT, Institut für Kern- und Energietechnik*

[2] *KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften – Abteilung Geothermie*

Kontakt: pia.orywall@kit.edu

In geothermischen Kreisläufen, die der Energiegewinnung dienen, sind geochemische Veränderungen der geförderten Wässer unumgänglich. Das Fluid wird dabei obertägig einer Druckentlastung und Temperaturerniedrigung unterzogen, wodurch das ursprüngliche, im Gleichgewicht befindliche Wasser, modifiziert wird. Der Sättigungsgrad einzelner Mineralphasen wird dadurch in den Bereich der Übersättigung verschoben und Ausfällungen sind die Folge. Bei der Betrachtung von einigen Geothermieanlagen bestehen diese Präzipitationen zumeist aus Baryt ($BaSO_4$) und Calcit ($CaCO_3$).

Ein experimentelles Forcieren solcher Ausfällungen wird in dem Versuchsstand „HydRA“ (am KIT in Karlsruhe) durchgeführt. Dies ist eine Durchflussapparatur, in der geothermische Bedingungen bis in eine Tiefe von 4 km mit einem Temperaturmaximum von 250 °C simuliert werden können. Es werden, auf Basis einer salinaren Matrix, zwei verschiedene Lösungen angesetzt und diese unter kontrollierten Bedingungen zusammengeführt. In der resultierenden dritten Lösung wird dadurch eine definierte Übersättigung an der zu beobachtenden

Mineralphase hervorgerufen. Der Durchfluss erfolgt mit dieser dritten Lösung und hat zur Folge, dass in dem Probenkörper Ausfällungen herbeiführt werden.

Untersuchungen zielen dabei auf die Effekte bezüglich der Reaktionskinetik des zu betrachtenden Minerals. Des Weiteren wird der Mechanismus (homogen / heterogen) der Keimbildung untersucht, der zu einem fortführenden Kristallwachstum führen kann. Variable Einflussparameter sind dabei der Grad der Übersättigung, sowie die Geräteparameter Druck und Temperatur. Ein inerter Probenkörper dient dabei in der ersten Phase dem Grundverständnis genau dieser beschriebenen Reaktionen. Natürliche Reservoirgesteine, wie Buntsandstein, Kalkstein und kristallines Gestein, werden in einem nächsten Schritt in die Durchflusszelle eingebaut, um mögliche geochemische Veränderungen der Gesteinsmineralogie zu untersuchen.

In geothermischen Anlagen ist eine dauerhafte und störungsfreie Energieproduktion angestrebt, da Geothermie u.a. die Grundlastfähigkeit als herausstechendes Merkmal gegenüber anderen erneuerbaren Energien aufweist. Die Resultate dieser Untersuchungen soll genau dies unterstützen. Ein, auf die standortspezifische Hydrochemie, angepassten Anlagenbetrieb kann individuell experimentell nachgebildet werden.

Poster

P 5.1

Grundwasser und Georeservoire, inter-well und single-well: Was ist tracermethodisch jeweils anders?

Julia Ghergut[1], Horst Behrens, Martin Sauter

[1] *Univ. Göttingen, Angewandte Geologie*
Kontakt: iulia.ghergut@geo.uni-goettingen.de

Bei künstlichen Fluidmarkierungen im Grundwasser steht typischerweise die Ermittlung von Fluidverweilzeiten (bzw. transportwirksamen Porositäten) im Mittelpunkt, um darauf basierend z. B. Schutzzonen zu dimensionieren; oder aber der Ausschluss ('negativer Nachweis') einer Transportverbindung zwischen dem fluiden Schutzgut und potentiellen Schadstoffquellen. Bei *Inter-well*-Markierungen in tiefen Georeservoiren geht es hingegen um den Nachweis der (i. d. R. erwünschten) Transportverbindung etwa zwischen geothermischen Produktions- und Reinjektionsbohrungen; die Aussage über Fließzeiten kommt jedoch 'zu spät' (Abb./links), um darauf basierend etwa eine geothermische Anlage (neu) zu dimensionieren. Eine Erkundungs- und planerische Funktion können *Inter-well*-Tracertests bei tiefen Georeservoiren damit kaum erfüllen. Dafür wird dort *Single-well*-Markierungen erheblich mehr Bedeutung beigemessen (Abb./rechts), als bei Grundwasseranwendungen; zumal mit der Erschließung eines neuen Georeservoirs zunächst meistens nur eine Bohrung zur Verfügung steht. Die mit der

Single-well-Tracermethodik geknüpften Erwartungen sind allerdings nur erfüllbar mit Markierungsmitteln (Tracerstoffen oder -stoffpaaren), deren quantitative Nachweis Qualitätsstandards unterliegt und deren physikochemische Verhalten in einer Detailliertheit (reservoirmilieuabhängig) und Genauigkeit zu ermitteln ist, die man von *Inter-well*-Grundwassermarkierungen nicht gewohnt ist. Während bei letzteren eine 10%e Fehlerbreite im gemessenen Tracersignal eine ungefähr gleich große Unsicherheit der ermittelten Verweilzeit (bzw Porosität) bedeutet, sind 10% Abweichung bei *Single-well*-Testsignalen mit Änderungen der Zielparameter (Porosität, Dispersion, Kluftapertur, -dichte) typischerweise um Faktoren 3-100 verbunden. Konservative Tracer sind in *Single-well-push-pull*-Tests in tiefen Formationen (ohne nennenswerten Drift durch natürliche Strömung) wenig aussagekräftig für nicht-kluftgeprägte, bedingt nützlich für natürlich-geklüftete Reservoire, und sehr empfehlenswert im Zusammenhang mit Stimulationsmaßnahmen sowie für die echte (nicht bohrloch-, sondern reservoirbasierte) Zuflussprofilbestimmung in Multirisssystemen. Die Sensitivität von *Single-well*-Tracertestsignalen gegenüber einigen der hydrogeologischen Zielparameter lässt sich durch Einsatz dual-reaktiv-partitionierender Tracer etwas verbessern. Für *Inter-well*-Anwendungen besteht wiederum ein dringender Bedarf an einer größeren Anzahl gesichert-konservativer Tracer, u. A. für die Markierung verschiedener, gleichzeitig stattfindender (ggf teilweise konkurrierender) geothermischer Fluidzirkulationen im Großraum München. Die tracermethodischen Entwicklungen werden u. A. im Rahmen des Projekts TRENDS (Tracertechniken zur Evaluierung der Nachhaltigkeit einer expansiven Nutzung geothermischer Ressourcen im süddeutschen Malm-Molassebecken) vom BMWi (FKZ 0325515) gefördert.

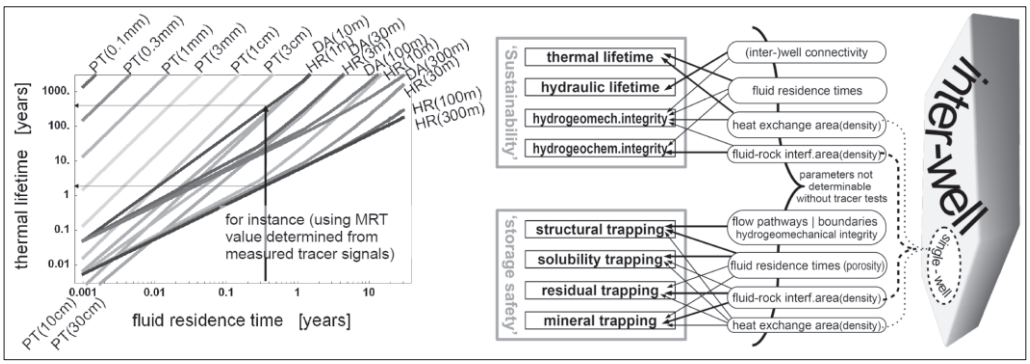


Abb. 1: Zielparameter von inter-well und single-well Tracertests in tiefen Georeservoiren

Literatur

Behrens, H. (1986): Water tracing chemistry: a factor determining performance and analytics of tracers. – In: Procs. 5th SUWT: 121-133; IGME Athens, Greece.

Chrysikopoulos, C.V. (1993): Artificial tracers for geothermal reservoir studies. – Environmental Geology, 22: 60-70.

Sauter M., et al. (2011): Brine-phase spiking during CO2 injection at the Ketzin site, Germany. – Geophys. Res. Abstr., 13: 2823.

Schaffer M., Licha T. (2015): Review: A framework for assessing the retardation of organic molecules in groundwater: Implications of the species distribution for the sorption-influenced transport. – Science of The Total Environment, 524/525: 187-194.

Zemel, B. (1995): Tracers in the Oil Field. – Elsevier, Amsterdam.

P 5.2

Batch- und Säulenversuche zur Untersuchung des Sorptionsverhaltens von Uranin, Amidorhodamin G und Tinopal CBS-X an Gesteinen des Rheinischen Schiefergebirges unter erhöhten Temperaturbedingungen

Tobias Vaitl[1], Stefan Wohnlich[1]

[1] *Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum*
Kontakt: tobias.vaitl@rub.de

In der Tiefengeothermie werden immer häufiger Tracerversuche für die Reservoircharakterisierung eingesetzt, um Eigenschaften wie Reservoirgeometrie, Wärmeaustauschflächen und Verweilzeiten zu ermitteln. Eine gute Kenntnis dieser Parameter führt zu einer optimalen Nutzung des Reservoirs. Für die Bestimmung der Wärmeaustauschflächendichte spielen insbesondere die so genannten single-well injection-withdrawal Tracerversuche eine wichtige Rolle. Bei diesem Versuch wird mit Hilfe eines Doppelpackers ein Kluftbereich separiert und anschließend Fluoreszenztracer mit verschiedenen Sorptionseigenschaften injiziert. Im nächsten Schritt verweilt der Tracer für eine bestimme Dauer in dem injizierten Bereich. Während dieser Verweilzeit interagieren Tracer und Kluftoberfläche. Nach einer definierten Verweilzeit werden die eingebrachten Fluoreszenztracer aus dem injizierten Bereich wieder herausgepumpt. Durch Analyse der Eingabefunktionen und der Durchbruchskurven können Aussagen über wichtige Parameter des geothermischen Reservoirs getroffen werden (Neretnieks 2007). Für die Ermittlung von Diffusions-, Sorptions- und Abbaueigenschaften der Tracer am jeweiligen Gestein gibt es verschiedene Methoden. Da diese Methoden meist unter Laborbedingungen (z.B. Raumtemperatur) durchgeführt werden und deshalb von den natürlichen Bedingungen im Untergrund abweichen können, sind starke Differenzen des Tracerverhaltens möglich, was wiederrum zu einer Fehlinterpretation der Durchbruchskurve führen kann. Daraus ergibt sich möglicherweise eine Über- bzw. Unterschätzung der Lebensdauer des geothermischen Reservoirs.

In dieser Arbeit wurde in einem ersten Schritt das Sorptionsverhalten von oben genannten Tracern an Gesteinen des Rheinischen Schiefergebirges mittels Batch-Versuchen unter Raumtemperatur untersucht. In einem zweiten Schritt wurde das Sorptionsverhalten mit identischen Tracern und Gesteinen durch Säulenversuche ermittelt. Um Informationen über die Sorption unter erhöhten Temperaturbedingungen in diesen Säulenversuchen zu erlangen, wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, welcher eine Erhitzung von Gestein und Tracer ermöglicht.

Die durchgeführten Batch-Experimente zeigten zunächst, dass sich Uranin gegenüber Sand- und Kalksteinen überwiegend konservativ verhielt. Dies galt nicht für die untersuchten Tonsteine, hier sorbierte Uranin bis zu 70 % am Gestein. Amidorhodamin G und Tinopal CBS-X verhielten sich reaktiv. In ersten Säulenversuchen unter erhöhten Temperaturbedingungen konnte die Stabilität der eingesetzten Tracer nachgewiesen werden. Erste Vergleiche des Sorptionsverhaltens der beiden eingesetzten Methoden unter Raumtemperatur legen nahe, dass es zu einer höheren Sorption in Batch-Versuchen gekommen ist. Die Ergebnisse dieser Studie sollen zu einem besseren Verständnis des Tracerverhaltens im Untergrund unter erhöhten Temperaturbedingungen beitragen, und somit eine verbesserte Charakterisierung der Wärmeaustauschflächendichte ermöglichen.

Literatur

Neretnieks I. (2007): Single-well injection-withdrawal tests (SWIW) in fractured rock. Some aspects on interpretation. SKB Rapport R-07-54

P 5.3

Entwicklung von Messsystemen zur störungsfreien Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration und des Redoxniveaus geothermaler Fluide

Dagmar Schönwiese[1], Sven Hagemann[1], Sebastian Feige[1]

[1] *(GRS) gGmbH*
Kontakt: dagmar.schoenwiese@grs.de

Der pH-Wert und das Redoxniveau sind geochemische Schlüsselparameter, die einen sehr starken Einfluss auf das Lösungsverhalten zahlreicher anorganischer Verbindungen haben. Änderungen des pH-Wertes können z.B. zu Übersättigungen führen, die sich im Bereich von Geothermie-Anlagen als unerwünschte Scalings niederschlagen.

Im Rahmen des ANEMONA-Vorhabens (Anlagenmonitoring als Schlüsseltechnologie für den erfolgreichen Betrieb von Geothermiekraftwerken in Deutschland) führt die (GRS) gGmbH im Labor und On-site potentiometrische und spektrophotometrische Messungen durch, um Transformationsfunktionen zur Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration und des Redoxniveaus für Drücke bis 200 bar und Temperaturen bis 200°C zu entwickeln.

Diese neu entwickelten Funktionen sollen dazu beitragen, eine präzisere Vorstellung der tatsächlichen Situation in geothermalen Reservoirs und in geothermischen Anlagen zu erhalten.

Die potentiometrischen und spektrophotometrischen Messungen werden in einem korrosionsbeständigen Hochtemperatur-Versuchsreaktor durchgeführt, in dem salinare $NaCl/CaCl_2$-Lösungen systematisch definierten P/T Bedingungen unterworfen werden.Aus den experimentell ermittelten Zusammenhängen von P, T und Salinität werden Transformationsfunktionen

erstellt, die im Rahmen des Projektes auch vor Ort an der Geothermieanlage Bruchsal überprüft werden sollen.

Projektpartner im Anemona Vorhaben sind die EnBW Kernkraft GmbH und das Geowissenschaftliche Zentrum der Universität Göttingen.

Das Vorhaben wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

P 5.4

Untersuchung der Hydrogeochemie in geothermalen Reservoiren mittels Hochdruck-Hochtemperatur-Säulenversuchen

Christoph Knuth[1], Stefan Wohnlich[1]

[1] *Ruhr-Universität Bochum*
Kontakt: christoph.knuth@rub.de

Eine wichtige Voraussetzung für die Konzeptionierung und den Betrieb von Geothermieprojekten ist sowohl die Kenntnis über die petrografischen Eigenschaften des Reservoirs als auch die Kenntnis über die charakteristischen hydrochemischen Verhältnisse. Unter ungünstigen Voraussetzungen können innerhalb des Reservoirs durchflusswirksame Bereiche durch Ausfällungen reduziert werden, wodurch der Durchfluss verringert wird. Neben negativen Auswirkungen im Reservoir besteht zusätzlich die Möglichkeit einer Durchflussminderung durch Ausfällungen in technischen Anlagenteilen. Um hydrochemische Prozesse prognostizieren zu können, ist es notwendig petrografische Reservoireigenschaften, Druck- und Temperaturverhältnisse im Reservoir und die Zusammensetzung des Wassers (Fluid) zu kennen.

In Laborexperimenten werden in einer Hochdruck- und Hochtemperatur – Durchflusssäule spezifische Reservoirverhältnisse simuliert. Dazu werden verschiedene Gesteinsproben aus dem Ausstrichbereich einer möglichen Förderbohrung petrografisch untersucht und als Durchflusskörper verwendet.

In einer ersten Versuchsreihe wurden die unterschiedlichen Durchflusskörper mit destilliertem Wasser beaufschlagt und unter variierenden Druck- und Temperaturverhältnissen untersucht, welche hydrochemischen Prozesse auftreten. Dabei wurde der Druck stufenweise in 50 bar – Schritten bis 200 bar erhöht (max. 400 bar möglich). Die Versuche wurden mit einer Temperatur von 25°C und 40°C (max. 180°C möglich) durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Lösung von Mineralphasen stärker temperatur- als druckabhängig ist. Zudem wird deutlich, dass durch eine Druckerhöhung die Löslichkeit ansteigt, diese aber innerhalb einer Druckstufe konstant bleibt. In einer zweiten Versuchsreihe werden die Experimente mit einem synthetisch hergestellten Wasser (Fluid) wiederholt durchgeführt. Die Zusammensetzung des Wassers entspricht dabei der typischen Zusammensetzung des tiefen Grundwassers des Ruhrkarbons

(Sole). Zudem werden die Versuche in einer dritten Versuchsreihe mit spezifischen Kluftfüllungen durchgeführt.

Die Laborergebnisse werden genutzt, um hydrochemische Modellierungen mit PhreeqC zu erstellen und so weitere Prognosen über tiefere Bereiche eines geothermalen Reservoirs zu treffen.

Mit den Ergebnissen der Hochdruck- und Hochtemperatursäulenversuche, sowie den Ergebnissen der hydrochemischen Modellierungen soll eine gute Prognose über mögliche hydrochemische Prozesse in einem konkreten geothermischen Reservoir getroffen werden.

P 5.5

Experimentelle Modellierung von Prozessen der Mineralausfällung und -auflösung im tiefen Untergrund

Christoph Weidner[1], Georg Houben[1], Thomas Himmelsbach[1]

[1] Grundwasserressourcen - Beschaffenheit und Dynamik, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Kontakt: christoph.weidner@bgr.de

Die aktive Beeinflussung der hydraulischen Durchlässigkeit von Klüften hat eine hohe Relevanz für unterschiedlichste Anwendungen und Nutzungsmöglichkeiten des tiefen Untergrundes ins Deutschland. Während die künstliche Verringerung von Kluftöffnungsweiten in einigen Anwendungen wie der Abdichtung von Bohrungen, der Endlagerung radioaktiver Abfälle oder der unterirdischen CO_2-Speicherung von Interesse sein kann, wird in anderen Anwendungen wie der Nutzung von Erdwärme in stimulierten geothermischen Systemen oder der nichtkonventionellen Erdgasförderung die künstliche Erhöhung der Kluftapertur angestrebt. Möglichkeiten zur Einflussnahme auf Kluftöffnungsweiten und -permeabilitäten durch kontrollierte Lösungs- und/oder Fällungsprozesse von Mineralen gehören daher zu den wichtigsten aktuellen geowissenschaftlichen Fragestellungen.

Im Rahmen dieser mannigfaltigen Anwendungsmöglichkeiten wurden in letzter Zeit technische Maßnahmen zur Erhöhung oder Verringerung von Kluftpermeabilitäten entwickelt. So kommen zum Beispiel in Reservoiren der tiefen Geothermie und der nichtkonventionellen Erdgasförderung chemische oder hydraulische Maßnahmen (Säuerung, hydraulische Stimulation) zur Erhöhung der Kluftpermeabilität zum Einsatz, während für die Bohrlochabdichtung, Endlagerung und CCS biologische und chemische Maßnahmen zur künstlichen Schließung von Klüften durch Mineralausfällung (mikrobiologisch induzierte Ureolyse und Kalzitfällung) diskutiert werden (Phillips et al., 2013, Yoo et al., 2013, El Mountassir et al., 2014).

Ein Labormodell wurde konstruiert um die Dynamik hydraulischer Klufteigenschaften infolge thermisch induzierter Minerallösungs- und -ausfällungsprozesse auch im Hinblick auf das Strömungsregime experimentell unter kontrollierten Randbedingungen zu untersuchen. Mit diesem Modell kann bei Drücken von bis zu 10000 kPa und Temperaturen von bis zu 80°C

eine kontinuierliche Durchströmung der Kluftprüfzelle erzeugt werden. Die Ausfällung von Alaun als Modell-Ersatz-Mineral kann durch künstliche Temperaturgradienten im Kluftsystem induziert werden.

In einer ersten Projektphase wurde die Funktionalität der thermisch induzierten Alaunausfällung sowohl in einem Kluftersatzsystem als auch entlang der natürlichen, geschliffenen Gesteinsoberfläche getestet und die Quantifizierbarkeit der Veränderung der Druckdifferenzen im Zu- und Auslauf sowie der wirksamen Apertur festgestellt. So konnte die Äquivalentapertur des Kluftersatzsystems infolge Mineralausfällung in einem ersten Test um bis zu 70 % reduziert werden.

In den folgenden Experimenten werden nun natürliche Gesteinsoberflächen verschiedener, für Fragestellungen der Tiefengeothermie oder der nuklearen Endlagerung in Deutschland relevanter Gesteine auf ihre Reaktion gegenüber reaktiven Kluftströmungsprozessen untersucht. Im Anschluss an glatte Kluftoberflächen ist zudem die Untersuchung von Prüfkörpern mit natürlichen, rauen Bruchflächen und unter variablem Strömungsregime angedacht.

Literatur

El Mountassir, G., Lunn, R.J., Moir, H. & Maclachlan, E. (2014): Hydrodynamic coupling in microbially mediated fracture mineralization: Formation of self-organized groundwater flow channels. – Water Resources Research, 50(1): 1-16.

Phillips, A.J., Gerlach, R., Lauchnor, E., Mitchell, A.C., Cunningham, A.B. & Spangler, L. (2013): Engineered applications of ureolytic biomineralization: a review. – Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research, 29(6): 715-733.

Yoo, S.Y., Mito, Y., Ueda, A. & Matsuoka, T. (2013): Geochemical clogging in fracture and porous rock for CO_2 mineral trapping. – Energy Procedia, 37: 5612-5619.

P 5.6

Scalings at geothermal facilities exploring the Malm Aquifer in the Bavarian Molasse Zone

Moritz Herbrich[1], Bernhard Köhl[1], Thomas Baumann[1]

[1] *Institute of Hydrochemistry, Technical University of Munich*
Kontakt: bernhard.koehl@tum.de

Scalings are a widespread problem among geothermal plants which exploit the Malm Aquifer in the Bavarian Molasse Zone. They affect the technical and economic efficiency of geothermal plants and cause costly revisions of the geothermal cycle. Scalings observed at geothermal facilities exploring the Malm Aquifer mainly consist of different CaCO3 polymorphs and are found at the motor, in the pumps and pipes and throughout the groundlevel facilities including the heat exchangers. There are two main processes leading to a disruption of the carbonate equilibrium and causing these $CaCO_3$ scalings: local temperature peaks and degassing of less soluble gases due to local pressure drops. While the increase of the temperature leads to a local

supersaturation at the hot surface of e.g. the motor, the formation of gas bubbles strips all soluble gases from the solution according to the Henry equilibrum constants, thus shifting the carbonate-equilibrium towards less soluble $CaCO_3$. In order to prevent the formation of scalings, these processes have to be quantified. Therefore, we investigated the scalings in all sections of the geothermal cycle at geothermal plants in the Malm Aquifer.

So far, we have sampled scalings from the pumps and the production pipes after three exchanges of the pump, scalings collected in the particle filters, scalings from the ground level geothermal facilities, and scalings from the injection pipes. The samples were characterized by REM-EDX, XRD, and image processing to assess the mineralogical features and the elemental composition. The porosity and bulk density were measured to assess the mass of the deposits and to calculate the kinetics of the formation. All together, this generated a unique quantitative dataset with a spatial resolution of 9 m along the production tubes.

The thickness of the scalings first decreases from the outlet of the pump to about 600-400 m b.s.l. From here, the thickness of the scaling increases again towards the well head. While the scalings at the well head show a crystalline structure with little porosity, the scalings at the pump reveal a rather sponge-like structure. The thickness of the scalings above the pump shows a dependency on the pump type. The overall thickness correlated to the produced volume of thermal water is on the order of 500-1500 µm/10^6 m^3. As the geothermal water is produced, the gas bubbles, which are formed at the pump, slowly dissolve under more steady flow conditions and less new scalings build, since the precipitation of some material reduced the saturation. Closer to the well head, scalings are formed as the pressure in the production pipe decreases. The processes leading to scalings are controlled by the hydrochemical conditions and the gas loading, both largely differing at the different exploration sites. Therefore, we will focus on the acquisition of additional data from other sites to quantify and predict the formation of the scalings and to develop countermeasures.

P 5.7

Comparison of Hydro-Mechanical Coupled Numerical Simulations with ThermoTriaxial Lab Investigations

Sebastian Weinert[1], Wolfram Rühaak[2], Kristian Bär[1], Ingo Sass[1]

[1] *Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Angewandte Geothermie, Schnittspahn Str. 9, 64287 Darmstadt*

[2] *Technische Universität Darmstadt, Darmstädter Exzellenz Graduiertenschule für Energiewissenschaft und Energietechnik, Jovanka-Bontschits-Straße 2, 64287 Darmstadt*

Kontakt: weinert@geo.tu-darmstadt.de

The impact of changing fluid pressure on rocks can be described by hydro-mechanical coupling (HMC) and is of special relevance for deep geo reservoirs. HMC can be segmented into

fluid-to-structure and structure-to-fluid processes (e.g. Rühaak et al., 2014). For validation of a newly developed HMC FEM code a comparison with laboratory results was performed.

A test series of Fontainebleau sandstone was conducted in a thermo triaxial device (ThermoTriax). Using the ThermoTriax fluid-structural interactions can be simulated and evaluated in a laborative scale. Prepared Fontainebleau sandstone cores were mounted and saturated in the triaxial cell. By increasing the vertical stress (structure-to-fluid), the discharge of pore fluid is quantified using two volume pressure controllers (VPCs) connected to the triaxial cell.

Vice versa, for an evaluation of the fluid-to-structure effect the pore pressure was increased in a second test series of the same sandstone specimens. By applying the same, unaltered pressure conditions for σ_1 and σ_3, the vertical displacement, and therefore the expansion of the specimen, can be measured.

In addition to the hydraulic and mechanical coupling, the temperature effect was added to the existing model. A second benchmarking of the model and the included temperature effect is planned to be conducted in the ThermoTriax for temperatures up to 165°C.

Literatur

Rühaak, W.; Bense, V. F.; Sass, I. (2014): 3D hydro-mechanically coupled groundwater flow modeling of Pleistocence glaciation effects. In Computers & Geosciences, 67 pp. 89-99.

P 5.8

Untersuchungen zur Pyritoxidation in Sedimentproben des Tagebaues Garzweiler

Björn Droste[1], Frank Wisotzky[1], Stefan Wohnlich[1]

[1] *Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Angewandte Geologie, Arbeitsgruppe Hydrogeologie, Ruhr-Universität Bochum*

Kontakt: bjoern.droste@rub.de

Die RWE Power AG betreibt im nördlichen Rheinischen Braunkohlenrevier den Braunkohlentagebau Garzweiler. Viele durchgeführte Studien untersuchen den Effekt der Oxidation des geogenen Pyritinventars in der Abraumkippe, welche unbehandelt zu sauren Kippengrundwässern oder Acid Mine Drainage führen würden (z.B. Wisotzky, 1994; Wisotzky 2003; Lenk & Wisotzky, 2007). Um einer Versauerung des Grundwassers entgegen zu wirken, wird dem versauerungsempfindlichen Abraum gemahlener Kalkstein in Abhängigkeit vom Pyritgehalt und dem pufferwirksamen geogenen Carbonatgehalt zugesetzt.

Um die Freisetzung von Sulfid- und Eisenacidität besser quantifizieren zu können, wurden 22 Sedimentproben aus dem Tagebau Garzweiler entlang eines typischen Tagebauprofils entnommen. Das Probenmaterial wird unter Laborbedingungen analog zu den maximalen Expositionszeiten im Tagebau verwittert, eine jeweils vorhandene Parallelprobe wird in Abhängigkeit

vom Pyritinventar und Carbonatgehalt mit Kalksteinmehl beaufschlagt und ebenfalls kontrolliert verwittert. Während der 9 monatigen Verwitterungszeit wurden die Proben detailliert untersucht. Insgesamt wurden so 44 Proben zu 5 Verwitterungszeitpunkten analysiert.

Die Analyse von pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit im zwei Wochen Turnus zeigt schnell eine beginnende Versauerung des Probenmaterials; die final ermittelten pH-Werte < pH 2,5 und Leitfähigkeiten von 6.000 µS/cm deuten auf eine deutliche Beeinflussung durch Oxidation des Pyritinventars hin. Der mit andauernder Verwitterungszeit steigenden Oxidationsgrad der Proben führt final zu analysierten Sulfatkonzentrationen von bis zu 4800 mg/l, Eisenkonzentrationen von 850 mg/l; die ermittelten Konzentrationen zeigen charakteristische Größenordnungen für Acid Mine Drainage beeinflusste Wässer. Der positive Effekt der Kalkung auf pH-Wert, Leitfähigkeit und Konzentration der typischen Reaktionsprodukte der Oxidation von Disulfiden konnten im Labormaßstab nachgewiesen werden.

Die in Laborexperimenten ermittelten zumeist negativen Bilanz-ANC Daten zeigen mit fortschreitender Verwitterung eine Freisetzung von Acidität, welche im Tagebau jedoch durch die Applikation des alkalisch wirkenden Kalkmehls wirkungsvoll unterdrückt wird. Die auf Basis der Laborexperimente durchgeführte hydrochemische Modellierung mit PhreeqC (Parkhurst & Appelo, 1999) und die Nachbildung der Modellierung durch weitere Laborexperimente bestätigen die Ergebnisse der Laboruntersuchungen an Realproben.

Literatur

Lenk, S., Wisotzky, F. (2007): Chemische Beschaffenheit und modellierte Genese von Grundwässern in Braunkohlenabraumkippen des Tagebaus Inden. Grundwasser. 12(4), 301–313

Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J. (1999): User`s Guide to PhreeqC (version 2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312

Wisotzky, F. (1994): Untersuchungen zur Pyritoxidation in Sedimenten des Rheinischen Braunkohlenreviers und deren Auswirkungen auf die Chemie des Grundwassers. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 58

Wisotzky, F. (2003): Saure Bergbauwässer (Acid Mine Drainage) und deren Qualitätsverbesserung durch Zugabe von alkalisch wirkenden Zuschlagstoffen zum Abraum – Landesumweltamt Nordrhein Westfalen, Essen. Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 61

6 Grundwasserbiologie

Vorträge

O 6.1: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 10:15-10:30

Concepts for an integrative ecological assessment of groundwater ecosystems status and services

Christian Griebler[1]

[1] *Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München*
Kontakt: griebler@helmholtz-muenchen.de

Today the assessment of the ecological status of surface waters is routine and made its way into national and international (e.g. European Water Framework Directive) regulations. For groundwater and aquifers a comparable approach, considering ecological aspects, is still missing. In contrast, groundwater monitoring and management schemes follow almost exclusively physical-chemical and quantitative criteria. However, groundwater systems are ecosystems harboring diverse communities of microorganisms and invertebrates. Directly linked to these biological components, groundwater systems provide important ecosystem services of societal relevance, such as the natural production of clean drinking water, biodegradation of pollutants and elimination of pathogens, to name a few. In the recent past, we developed a first concept of an ecologically sound groundwater assessment scheme. Work included (1) the identification of biological/ecological criteria, (2) set-up of a groundwater ecosystem typology, (3) deduction of natural biological groundwater background values and definition of reference conditions for selected sites, and (4) a first evaluation model.

In the framework of the project consortium GroundCare, recently funded by the German Federal Ministry of Education and Research, ten partners from science, authorities and the private sector challenge and further develop the early concepts extending the focus to a qualitative and quantitative assessment of groundwater ecosystem services.

The talk will inform about preliminary results and developments in GroundCare and other current activities related to groundwater ecosystem status and services assessment.

O 6.2: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 10:30-10:45

Mikrobielle und faunistische Ansätze zur ökologischen und hydrodynamischen Charakterisierung der Grundwasserleiter

Michael Sinreich[1], Ronald Kozel[1]

[1] Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie, Schweiz
Kontakt: michael.sinreich@bafu.admin.ch

Ökologische Aspekte stellen nicht nur ein weiteres Element in der Charakterisierung von Grundwasserressourcen dar, sondern können auch hydrodynamische Prozesse abbilden oder als Indikator für die Wasserqualität herangezogen werden. So ist in der schweizerischen Gewässerschutzverordnung explizit festgehalten, dass die Biozönose unterirdischer Gewässer „naturnah und standortgerecht" sowie „typisch für nicht oder nur schwach belastete Gewässer" sein soll.

Vor diesem Hintergrund wurden in der Schweiz im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA zwei Pilotstudien durchgeführt. Damit sollte abgeklärt werden, wie sich der Zustand der Grundwasserbiozönose in Bezug auf natürliche Mikroorganismen und auf Grundwasserfauna (Makrozoobenthos) mit einfachen Ansätzen beschreiben lässt.

Bei den mikrobiologischen Untersuchungen an 50 für die Grundwasserverhältnisse des Landes repräsentativen NAQUA-Messstellen stellte sich heraus, dass insbesondere die Gesamtanzahl an Bakterienzellen in einer Grundwasserprobe – die mittels Durchflusszytometrie bestimmte Zellzahl – einen für die Art des Grundwasserleiters typischen Wertebereich aufweist. Insgesamt wurden Grössenordnungen von 10^3 bis 10^6 Zellen pro mL gemessen (Kötzsch & Sinreich 2014). Dabei weisen Lockergesteins-Grundwasserleiter in der Regel die geringeren, Kluft- und v.a. Karst-Grundwasserleiter eher höhere Zellzahlen auf. Insbesondere für Karst-Grundwasserleiter korreliert die Zellzahl mit dem generellen hydrodynamischen Verhalten, also auch der Vulnerabilität des Systems (Sinreich et al. 2014).

Für den faunistischen Ansatz wurden 8 ausgewählte NAQUA-Quellmessstellen zur Erfassung der Driftfauna beprobt. Die Zusammensetzung der mit insgesamt 40 Arten reichhaltigen Grundwasserfauna spezifiziert nicht nur deutlich die einzelnen Grundwasservorkommen, sondern spiegelt auch die hydrodynamischen Eigenschaften der entsprechenden Festgesteins-Grundwasserleiter wider. Wenig vulnerable Systeme (geringe Schwankungen der Schüttung und der physiko-chemischen Parameter) zeichnen sich durch einen hohen Anteil an echter Grundwasserfauna – also an stygobionten Arten – und durch geringe Abundanzen aus. Vulnerable, dynamische Karst-Grundwasserleiter zeigen dagegen ein Übergewicht an nicht-stygobionten Arten hoher Abundanz.

Mit beiden Ansätzen können die Grundwasserleiter ökologisch beschrieben und im Kontext der hydrodynamischen Verhältnisse klassifiziert werden. Abweichungen von den so definierten charakteristischen Typsituationen hinsichtlich Zellzahl und/oder Anteil stygobionter Arten

weisen dabei auf eine Beeinträchtigung der naturnahen Grundwasserbiozönose hin. Ausserdem lassen die ökologischen Parameter in den durchgeführten Studien Rückschlüsse auf die hydrogeologischen Eigenschaften zu, insbesondere zum Grad des Oberflächeneinflusses bei Festgesteins-Grundwasserleitern. Inwieweit dies vorrangig von den hydrologischen oder den ökologischen Faktoren bestimmt wird, bedarf weiterer Abklärungen.

Literatur

Kötzsch, S. & Sinreich, M. (2014): Zellzahlen zum Grundwasser - Bestimmung mittels Durchflusszytometrie. – Aqua & Gas, 3, 14-21.

Sinreich, M., Pronk, M. & Kozel, R. (2014): Mikrobiological monitoring and classification of karst springs. – Environmental Earth Sciences, 71(2), 563-572.

O 6.3: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 11:15-11:30

Monitoring der Grundwasserfauna in Baden-Württemberg

Emil Hildenbrand[1], Klaus-Peter Barufke[1]

[1] *Referat Grundwasser, LUBW – Karlsruhe*
Kontakt: Klaus-Peter.Barufke@lubw.bwl.de

2002 wurde erstmalig in Baden-Württemberg an 300 Grundwasser-Messstellen die Grundwasserfauna nach Arten- und Individuenzahl bestimmt. Es wurde je eine Fangkampagne im Frühjahr und im Herbst durchgeführt. Zusätzlich wurden die Messstellen von der Landesanstalt für Umweltschutz, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) beprobt und auf eine Vielzahl von natürlichen und anthropogenen Stoffen analysiert. Das dafür eigens bei der LUBW konzeptionierte Messnetz sollte repräsentativ für die Verhältnisse im Land sein. Als Hauptkriterien für die Messstellenauswahl durch die LUBW wurden neben dem Aspekt der möglichst gleichmäßigen Verteilung über die Landesfläche naturräumliche, hydrogeologische und hydrographische Gliederungsansätze angewandt. Unterschiedliche Landnutzungen im Einzugsgebiet wie Wald, Landwirtschaft, Siedlungen und Industrie wurden ebenso berücksichtigt.

Die Ergebnisse dieser Erhebung waren die Grundlage für die Auswahl von 40 Grundwasser-Messstellen, an denen ab 2006 ein Dauermonitoring durchgeführt wird. Bei den Untersuchungen wurde auch eine neue Brunnenkrebsart – *parabatynella baden-wuerttembergensis* – entdeckt.

Neben diesen Untersuchungen wurde die Grundwasserfauna im Umfeld von Baggerseen in der Oberrheinebene untersucht. Von Oktober 2008 bis Juli 2009 wurden in sechs Messzyklen insgesamt 500 Faunaproben in 150 Messstellen an 13 Baggerseen gewonnen. Es wurden etwa 5.000 Tiere gefunden.

Im Vortrag werden die bisherigen Ergebnisse und die aus den Projekten gewonnenen Erkenntnisse vorgestellt.

Literatur

Fuchs, A. (2007): Erhebung und Beschreibung der Grundwasserfauna in Baden-Württemberg. Dissertation der Universität Koblenz-Landau, Campus Landau.

Fuchs, A., Hahn, H. J. & K. P. Barufke (2006): Erhebung und Beschreibung der Grundwasserfauna in Baden-Württemberg. (Reihe Grundwasserschutz 32, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW). Karlsruhe.

O 6.4: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 11:30-11:45

Grundwasserfauna in Festgesteinsaquiferen – ein interdisziplinärer Ansatz in der Grundwasserforschung

Sylke Hilberg[1], Ursula Eisendle-Flöckner[2]

[1] *Fachbereich Geographie und Geologie, Universität Salzburg*

[2] *Fachbereich Zellbiologie, Universität Salzburg*

Kontakt: sylke.hilberg@sbg.ac.at

In den meisten Festgesteinen ist die Wasserzirkulation im Wesentlichen an Trennflächen wie Klüfte, Störungen, Schieferungs- oder Schichtflächen gebunden und damit von der Kluftporosität eines Gebirges abhängig. Die hydrogeologische Erkundung umfasst hier geologisch-strukturgeologische und hydrogeologische Kartierungen und die Erfassung von Zeitreihen der physio-chemischen Parameter sowie der Quellschüttung oder der Wasserstände in Grundwassermessstellen. Auf Grund komplexer und oft nur ungenau bekannter geologischer Strukturen ist die Dateninterpretation häufig mit Unsicherheiten behaftet.

Tierische Organismen in Karstgrundwasserleitern wurden bereits im 16. Jahrhundert beobachtet. In den vergangenen gut drei Jahrzenten wurden umfangreiche Forschungen zur Grundwasserfauna in Porenaquiferen durchgeführt. Aus den bisherigen Untersuchungen in diesen beiden Aquifertypen ist bekannt, dass die chemische Zusammensetzung von Grundwässern, vor allem deren Nähr- und Sauerstoffgehalt, die Fließgeschwindigkeiten und die Beschaffenheit der Hohlräume innerhalb eines Aquifers wesentlichen Einfluss auf die Organismengemeinschaften im Grundwasser nehmen. Als Spiegel ihrer Lebensräume können diese Gemeinschaften damit wiederum zu idealen natürlichen Indikatoren für Habitatbedingungen und damit für Aquifereigenschaften werden.

Mit dem Fokus auf Fragestellungen in Kluftaquiferen stellt die Präsentation eine systematische Verknüpfung hydrogeologischer Rahmenbedingungen mit den im Grundwasser vorkommenden Tieren vor. Der faunistische Schwerpunkt liegt auf der Tiergruppe der freilebenden Nematoden, die in nahezu jedem hydrogeologischen Setting vorkommen und anders als die gut untersuchten Grundwasser-Crustacea, keine eingeschränkten geographischen Verbreitungsmuster aufzuweisen scheinen.

Im Vortrag werden erste Ergebnisse aus lithologisch unterschiedlichen Festgesteinsaquiferen im alpinen Raum präsentiert. Daneben werden einige Erfahrungen der Autorinnen zu den

speziellen Anforderungen an Probenahmestellen und -techniken erläutert. Bereits bei der Planung und Durchführung von Probenahmen zeigen sich die Herausforderungen einer interdisziplinären Arbeit. So ist für eine Grundwasserfauna-Probenahme ein grundsätzlich anderer Ansatz zu wählen als es für eine Grundwasser-Probenahme für hydrochemische Fragestellungen der Fall ist.

Der interdisziplinäre Ansatz kann sowohl für die Hydrogeologie als auch für die Grundwasserbiologie wesentliche Fortschritte liefern. Einerseits kann die Erweiterung des Methodenspektrums um biologische Parameter einen wesentlichen Fortschritt in der Festgesteinshydrogeologie liefern, andererseits kann die Einbeziehung geologischer und hydrogeologischer Faktoren bei der Interpretation der detektierten Organismengemeinschaften zu einem verbesserten biologischen Verständnis dieser speziellen Lebensräume beitragen.

O 6.5: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 11:45-12:00

Mobile Partikel im System Boden-Ungesättigte Zone-Aquifere: Quellen, Stoffspektrum und Bedeutung für Stoffkreisläufe und Funktionen unterirdischer Ökosysteme

Robert Lehmann[1], Paul Seeber[1], Bernd Kohlhepp[1], Martina Herrmann[2], Kirsten Küsel[2], Kai Uwe Totsche[1]

[1] *Lehrstuhl für Hydrogeologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Germany*

[2] *Lehrstuhl Aquatische Geomikrobiologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Germany*

Kontakt: ro.lehmann@uni-jena.de

Mobile Umweltpartikel in unterirdischen Ökosystemen der Kritischen Zone weisen ein großes Stoff- und mobiles Größenspektrum auf. Neben biotischen Komponenten und Akteuren wie Mikro- und Makrofauna, werden mit den jeweiligen mikrobiologischen und geowissenschaftlichen Probenahme- und Präparationstechniken mannigfaltige abiotische, mineralische oder heteroaggregierte, dispergierte Komponenten erfasst. Diese geobiogen gebildeten oder anthropogen eingetragenen Komponenten dienen als Energiequellen, Nährstoffe und Vehikel für den trägervermittelten Stofftransport und sind wesentlich für die unterirdischen biogeochemischen Kreisläufe. Bisher sind jedoch nur wenige gesicherte Informationen aus quantifizierenden und mesoskaligen Untersuchungen zum mobilen Stoffspektrum im System Boden GW-UZ-Aquifere verfügbar. Um diese Wissenslücke zu schließen, haben wir das CZO Hainich (Nordwestthüringen, Unstrut-EZG) stellvertretend für Einzugsgebiete und Kulturräume gemäßigter Klimate mit karbonatischem Ausgangsgestein zur Untersuchung der unterirdischen Biogeosphäre eingerichtet. Für die Gewinnung und Untersuchung mobiler Umweltpartikel haben wir entlang eines Transekts in Richtung der Grundwasserströmung insbesondere Niederschlagsfänger, Auflagelysimeter, tensionsgesteuerte Lysimeter in mehreren Tiefen, sowie Grundwassermessstellen für die Installation von Passivsammlern und zur Grundwasserprobenahme

errichtet. Diese werden in regulären und ereignisabhängigen Kampagnen beprobt und die freisetzungssteuernden Milieubedingungen (Bodenlösungs- und Grundwasserbeschaffenheit, Hydraulik) und äußeren Faktoren (Wetterparameter, Bewirtschaftung) gemessen. Die Zusammensetzung der mobilen partikulären Fraktion zeigen u.a. Karbonatfragmente und Verwitterungsresiduate in den Aquiferen der teilweise verkarsteten Kalkstein-Mergelstein-Tonstein-Wechselfolgen des Oberen Muschelkalkes und eine hohe mikrobielle Diversität an Bacteria, Archaea und auch eukaryotischen Mikroorganismen wie Pilzen, Ciliaten und Flagellaten. Verschiedene mikrobielle Gruppen der Bacteria und Archaea nehmen im Aquifer eine wichtige Rolle im Stickstoff- und Schwefelkreislauf sowie in der photosynthese-unabhängigen autotrophen CO_2-Fixierung ein. Neben der Charakterisierung der mobilen Partikel, die auch als Tracersubstanzen zur Verfügung stehen, sind die dynamischen Milieubedingungen im variabel gesättigten Untergrund des Karbonat-/Karststandortes, die klimatischen Ereignisse und die Quellmaterialien (Böden, Aquifergestein, Kluftmineralisationen) Gegenstand der Untersuchungen für das tiefere Verständnis der Bedeutung von partikulären Substanzen für Stoffkreisläufe der Biogeosphäre des Standortes.

O 6.6: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 12:00-12:15

Projekt "StygoTracing": Verbesserung der Qualitätssicherung in Trinkwasserversorgungsanlagen mittels Biotracern

Susanne van den Berg-Stein[1], Klaus Schwenk[2], Hans Jürgen Hahn[1]

[1] *IGÖ*

[2] *UNI Koblenz-Landau*

Kontakt: vandenberg@groundwaterecology.de

Trinkwasserversorgungsanlagen (TVAs) sind oft von einer artenreichen Fauna besiedelt. Eine der problematischsten Arten ist *Asellus aquaticus*, die Wasserassel, die insbesondere in TVAs Nord-und Westeuropas weit verbreitet ist. Der Eintrag erfolgt meist über das Rohwasser, aber auch zum Teil über zugekauftes Fremdwasser oder sonstige Eintragspfade.

Am Beispiel von *Asellus aquaticus* konnte gezeigt werden, dass sich die hydrologischen Verhältnisse in TVAs über populationsgenetische Verfahren darstellen lassen. Die Wasserassel dient dabei als Tracerorganismus, über den die Eintrags- und Verbreitungspfade der Tiere mittels Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den verschiedenen Wasserasselpopulationen in und um eine TVA ermittelt werden können.

Erste Ergebnisse zeigen, dass das Verfahren geeignet ist, Tiere individuell zu identifizieren und damit ihr Verbreitungsmuster sowie das Fließverhalten des Wassers nachzuvollziehen.

Neben der Anwendung in technischen Systemen wie einer TVA zeichnet sich auch die Perspektive einer Anwendung im Freiland ab.

Poster

P 6.1

Diversity and functionality of groundwater viral communities

Li Deng[1], Judith Feichtmayer[1], Rene Kallies[2], Christian Drosten[3], Christian Griebler[4]

[1] *Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München*
[2] *Department für Mikrobiologie, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung Leipzig*
[3] *Institut für Virologie, Universität Bonn*
[4] *Institute für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München*
Kontakt: griebler@helmholtz-muenchen.de

Viruses are the most abundant and diverse biological entities on the planet and their impact is global. They affect microbial hosts through mortality, re-mineralization of nutrients, and horizontal gene transfer. Phages can even drive the evolutionary trajectory of the Earth's fundamental biogeochemical processes by encoding "host" genes that are expressed during infection and confer a direct fitness advantage for the phage.

While viral communities in surface freshwaters and marine systems received considerable attention in the recent past, our knowledge about viruses, others than pathogens, in groundwaters is almost zero. Sampling pristine as well as organically contaminated groundwater from different sites in Germany, we aim to shed light into the viral diversity and functionality.

Viral particles were concentrated from large amounts of groundwater (tens of cubicmeters) via nanofiltration. Viral communities were then investigated by means of viral tagging, metagenomic pyrosequencing, and protein cluster (PC) analysis. We build a PC datasets using viral metagenomes from freshwater and groundwater habitats, in conjunction with the marine viral GOS and POV data set to minimize the bias when analyzing the groundwater viral metagenoms.

Viruses in groundwater were dominated by dsDNA bacteriophages of the families of Myoviridae, Podoviridae and Siphoviridae. The dominance of tailed-morphology Myoviridae in our groundwater sample was confirmed by Transmission Electron Microscopy (TEM). Comparison of the groundwater viral metagenomes with different metagenomes from a variety of other aquatic environments (marine and freshwater) revealed that the freshwater viral consortia were more close to each other than to marine consortia. However, no significant difference between freshwater (including groundwater) and marine viral assemblies could be found, which is likely due to the insufficient sample size of the current database. The cluster richness of each virome, deduced from PCs, was significantly different between the groundwater environments from others, with the highest diversity being observed in groundwater. Mapping metabolic pathways from viral metagenome data obtained from groundwater of an organically polluted site revealed that viruses in this system carry bacterial functional genes related to biodegradation of

the site-specific contaminants. Current research is directed to the functional role of viral communities in groundwater ecosystems.

P 6.2

Eine Pilotstudie zu Diatomeen- und Nematodengemeinschaften hochalpiner Quellen

Ursula Eisendle-Flöckner[1], Maurizio Battegazzore[2], Sylke Hilberg[1]

[1] *Universität Salzburg*
[2] *ARPA Piemonte*
Kontakt: ursula.eisendle@sbg.ac.at

Quellen sind Lebensräume, die als Grundwasseraustritte punktuelle Landschaftselemente darstellen. Im Vergleich zu anderen Süsswasserhabitaten wie zum Beispiel Grundwasser, Fließgewässern und Seen ist über die Lebensgemeinschaften in Quellen vergleichsweise wenig bekannt. Faunistische und floristische Beobachtungen lassen mitunter auf eine typische Quellfauna und – flora schließen.

Da die abiotischen Eigenschaften einer Quelle (z.B.: hydro-chemische und thermische Bedingungen, Nährstoffgehalt, Beschattung) durch die komplexe Kombination von Geomorphologie, Vegetation, Klimazone, Fließdynamik im Aquifer, Seehöhe und Niederschlag des Quell- und Einzugsgebietes bestimmt werden, können Quellen zum einem sehr unterschiedlich ausgeprägt sein, zum anderen können damit auch eine Vielfalt von Beeinträchtigungen einhergehen. In wieweit mögliche Unterschiede der Quellcharakteristik und deren Beeinträchtigungen die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften beeinflussen und inwieweit ein möglicher Zusammenhang wiederum eine Indikation von Quellen an Hand ihrer Lebensgemeinschaften zulässt, ist erst ansatzweise untersucht.

Quellen stellen auch ein wichtiges „Verzahnungselement“ zwischen Oberflächen- und Grundwasser und zwischen aquatischer und terrestrischer Zone dar. Als Ursprung oft weitverzweigter Gewässersysteme nehmen hochalpine Quellen in diesem Zusammenhang eine besondere Stellung ein. Alpine Quellen im Allgemeinen werden als mögliche lokale und regionale Biodiversitätsressourcen eines Einzugsgebietes und somit als sogenannte Biodiversitäts-Hotspots angesehen. Trotz ihrer besonderen Stellung innerhalb von Flusssystemen, ihrem möglichen wichtigen Beitrag zur Artenvielfalt alpiner Lagen sowie dessen möglicher Gefährdung (z.B. durch klimatisch bedingte und strukturelle Änderungen), sind vor allem hochalpine Quellen ausgesprochen schlecht untersucht.

Mit dem vorliegenden Beitrag werden erste Einblicke in die Lebensgemeinschaften (hoch)alpiner Quellen im Nationalpark Hohe Tauern (Ostalpen, Österreich) gegeben. Die einzelnen Quellen liegen zwischen rund 1880 und 2400 m Seehöhe, weisen überwiegend hohe Sauerstoffsättigung auf (> 90%, mit zwei Ausnahmen – 30, 62 %). Hauptaugenmerk der

Präsentation liegt bei zwei Organismengruppen: benthische Diatomeen und freilebenden Nematoden. Alpha-Diversität (Artenzahlen), beta-Diversität (Unterschiede hinsichtlich der Diversität zwischen den einzelnen Quellen) und die Verteilung dominanter Arten wurden untersucht. Neben diesen grundlegenden zönotischen Ansätzen wird abschließend vor allem die mögliche indikative Eignung dieser beiden Gruppen für hochalpine Quellen diskutiert.

Literatur

Botosaneanu, L. ed. (1998). Studies in crenobiology. The biology of springs and springbrookds. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

Maiolini, B., Carolli, M. & Silveri, L. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in springs in Trentino (south-eastern Alps).

Staudacher, Füreder, L. (2007): Habitat complexity and invertebrates in selected Alpine springs (Schütt, Carinthia, Austria). Internat. Rev. Hydrobiol. 92: 465-479.

Stoch, F. Gerecke, R., Pieri, V. et al. (2011): Exploring species distribution of spring meiofauna (Annelida, Acari, Crustacea) in the south-eastern Alps. In: Springs: neglected key habitats for biodiversity conservation (Ed. Cantonati, Gerecke, Cox).

Zullini, A., Gatti, F. & Ambrosini, R. (2011): Microhabitat preferences in springs, as shown by a survey of nematode communities of Trentino (south-eastern Alps, Italy). In: Springs: neglected key habitats for biodiversity conservation (Ed. Cantonati, Gerecke, Cox).

P 6.3

Extraction of microbial DNA from Muschelkalk formations in the Thuringian Basin

Wenke Stoll[1], Cassandre S. Lazar[2], Robert Lehmann[3], Kirsten Küsel[2], Kai Uwe Totsche[3]

[1] *Lehrstuhl Aquatische Geomikrobiologie & Lehrstuhl für Hydrogeologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Germany*

[2] *Lehrstuhl Aquatische Geomikrobiologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Germany*

[3] *Lehrstuhl für Hydrogeologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Germany*

Kontakt: ro.lehmann@uni-jena.de

Microbial communities can be used as bioindicators for groundwater and reservoir quality, if the community structure and their functions are determinable. In the course of the establishment of monitoring nets and groundwater monitoring well construction, we recovered non-fractured to karstified rock core samples, from different drillings and depths in the Thuringian Basin, representing different habitat and reservoir properties. The DNA of rock-attached and unattached microorganisms was extracted after grinding the aquifer rock samples to powder. The primarily investigated formations of the Upper Muschelkalk, mainly composed of limestones and marlstones, provided challenging samples, as their components (such as calcium) interfered with the DNA extractions and subsequent molecular biology analyses. Optimization of the DNA extraction protocol resulted in DNA recovered from 18 of 25 rock samples, although DNA concentrations were extremely low. Preliminary analysis of the bacterial and archaeal 16S rRNA genes by fingerprinting methods showed significant differences in the

community structure patterns of the different rock samples, as well as a seemingly high microbial diversity in most samples. 16S rRNA genes will be amplified and sequenced via Illumina technique in order to further taxonomically identify the microorganisms found in the aquifer rocks.

7 Grundwasserhochstände – Ursachen und Lösungsansätze

Vorträge

O 7.1: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 13:45-14:00

Integrierte Betrachtung der Grundwasserhochstände in der Gemeinde Tacherting (Bayern)

Patrick Keilholz[1], Markus Disse[2], Punit Kumar Bhola[2]

[1] *Büro München, DHI-WASY GmbH*

[2] *Technische Universität München, Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement*

Kontakt: pak@dhigroup.com

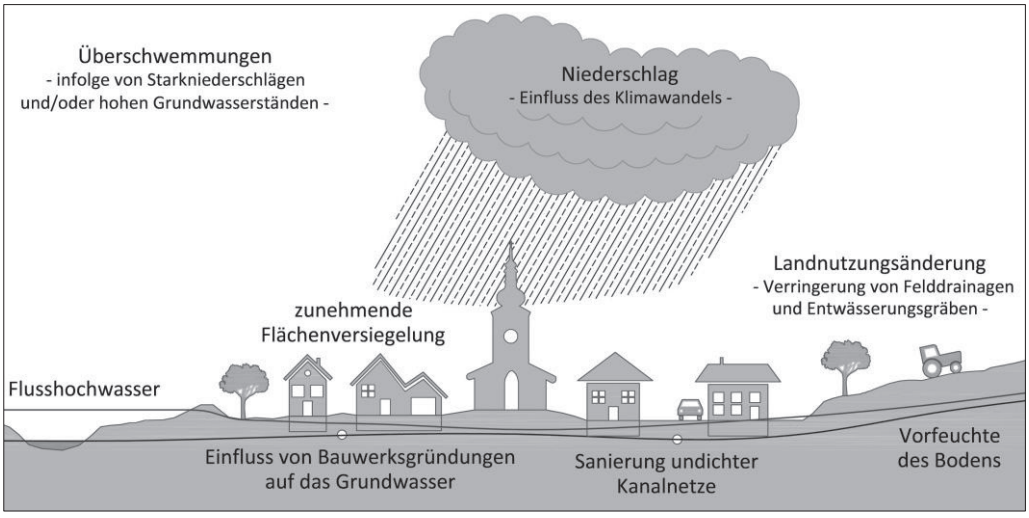


Abb. 1: Mögliche Ursachen für die Entstehung von Grundhochwasser

Die extremen Niederschläge im Juni 2013 haben in vielen Gemeinden Bayerns neben dem bekannten Flusshochwasser zu einem starken Anstieg des oberflächennahen Grundwassers geführt. Die Folgen waren zahlreiche überflutete Keller, Straßen und landwirtschaftliche Flächen. Besonders betroffen war die Gemeinde Tacherting an der Alz. Bekanntlich können viele Einflüsse die Grundwasserstände beeinflussen (Abb. 1): Waren es die Starkniederschläge, das Drängewasser vom Fluss oder andere Ursachen? Unter Einbeziehung von Bürgern, der

Gemeinde und dem Wasserwirtschaftsamt Traunstein wurden mit Hilfe eines gekoppelten Grundwasser-Oberflächenwasser-Modells (MIKE SHE) die Einflüsse auf die Grundwasserstände analysiert. Die Berechnungen belegen, dass insbesondere die Kombination aus Starkniederschlag und Flusshochwasser die schadensträchtigen Grundhochwasserstände bewirkt. Darüber hinaus wurden Maßnahmen entwickelt, mit denen zukünftig ein Grundhochwasser verhindert werden kann.

O 7.2: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 14:00-14:15

Auswahl und geostatistische Analyse bestehender Grundwasserstandsganglinien zur Ermittlung von Grundwasserhöchstständen

Felix Tritschler[1], Falk Händel[1], Rudolf Liedl[1], Peter Börke[2]

[1] *Institut für Grundwasserwirtschaft, TU Dresden*

[2] *Referat Siedlungswasserwirtschaft und Grundwasser, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen*

Kontakt: felix_tritschler@web.de

Hochwasserereignisse im Grundwasser stellen vor allem für Gebäude und andere Infrastruktur eine große Gefahr dar. Bauherren und Planer sind gemäß höchstrichterlicher Rechtsprechung verpflichtet, Informationen über die höchsten zu erwartenden Grundwasserstände einzuholen (vgl. BGH-Beschluss vom 28.04.2005 - VII ZR 221/04). Es ist also von größtem Interesse Informationen zu lokalen Grundwasserhöchstständen zu erlangen.

Landesämter und andere Institutionen verfügen über einen großen Stamm an relevanten Beobachtungsdaten der Grundwasserstände (in Form von Zeitreihen), welche zu der Ermittlung solcher Daten herangezogen werden können.

Auf Basis von Auswahlkriterien, welche die gegebenen Zeitreihen und deren Maxima hinsichtlich Ausreißerwahrscheinlichkeit, Zeitreihenlänge sowie der zeitlichen Messauflösung auswählen, konnten Datenkollektive erzeugt werden. Die Maxima der ausgewählten Zeitreihen repräsentierten die höchstmöglichen Grundwasserstände an den beteiligten Messstellen. Hierbei musste jedoch ein Kompromiss zwischen Kriterienstrenge und verbleibender Anzahl ausgewählter Messstellen gefunden werden.

Die Kollektive wurden dann als Basis zur Interpolation mittels des geostatistischen Verfahrens Kriging mit externem Trend genutzt. Als mögliche Sekundärvariablen der Interpolation wurden sowohl die Geländeoberkante als auch eine mittlere Grundwasseroberfläche in Betracht gezogen. Die räumliche Auflösung des Prognosegitters der Interpolation wurde auf 50 x 50 m festgelegt.

Für das Modellgebiet der Großenhainer Pflege im sächsischen Landkreis Meißen (341 km²) hat sich das Kriging mit mittlerer Grundwasseroberfläche als externem Trend als geeignet erwiesen, da die geologischen Gegebenheiten den Einsatz von geostatistischen Verfahren befürworten und von allen untersuchten Methoden die erzielten Ergebnisse den Erwartungen am stärksten entsprachen.

Das gefundene Verfahren verspricht, unter Verwendung vorhandener Daten, eine einfache Lösung zur Erlangung von Informationen über die lokal höchstmöglichen Grundwasserstände unter Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten.

O 7.3: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 14:15-14:30

Methodisches Vorgehen zur Erstellung von Gefahrenkarten zu Grundhochwassersituationen im Freistaat Sachsen

Kathrin Brinschwitz[1], Toralf Hilgert[1]

[1] *Fugro Consult GmbH*
Kontakt: k.brinschwitz@fugro.de

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie erarbeitete die Fugro Consult GmbH 2014/2015 ein methodisches Konzept zur Erstellung von Gefahrenkarten für Grundhochwassersituationen im Freistaat Sachsen. Ein besonderer Schwerpunkt der Konzeptfindung lag in der Analyse und Aufbereitung der erforderlichen Datengrundlagen für eine zukünftig landesweite Bearbeitung. Nach einer Literaturrecherche und Prüfung möglicher Methoden zur Regionalisierung von Punktdaten wurde als Grundlage des Konzeptes eine kombinierte numerisch-statistische Herangehensweise ge-wählt, die ein „Detrended Kriging" zur Regionalisierung von Extremgrundwasserständen auf der Basis eines schematisierten und Hochwasser-adaptierten Grundwassersimulationsmodells beinhaltet. Entsprechend dem abgebildeten Verfahrensschema umfasst das Konzept zur Erstellung von Gefahrenkarten für Grundhochwässer folgende Teilschritte:

Teilschritt 1 – Aufbau Simulationsmodell und Adaption auf Hochwasser

Teilschritt 2 – Ermittlung und Bearbeitung Eingangsdaten Grundwasserstände

Teilschritt 3 – Ermittlung Trendfläche Mittelwasser und Hochwasser

Teilschritt 4 – Ermittlung Grundwasseranstieg Mittel- auf Hochwasser

Teilschritt 5 – Ermittlung der höchsten Grundwasseroberfläche und der resultierenden Flurabstände

Teilschritt 6 – Erstellung der Gefahrenkarten auf Basis der Flurabstände bei Grundhochwasser

Das geostatistische Interpolationsverfahren „Detrended Kriging" (auch Residuen-Kriging) wird zur Beachtung des allgemein bei Grundwasseroberflächen auftretenden räumlichen Trends verwendet. Als objektive Grundlage für die Interpolation dient ein schematisches numerisches

Simulationsmodell der Ermittlung der notwendigen geohydraulisch plausiblen Zusatzinformationen. Durch das geohydraulische Modell können zudem zusätzliche Informationen in Gebieten mit geringer Datendichte gewonnen werden. Die Adaption des Simulationsmodells auf Hochwasserverhältnisse erfolgt durch Er-höhung der Grundwasserneubildung und Berücksichtigung von Hochwasserlamellen der Vorfluter. Die für die Kalibrierung des Modells sowie für die geostatistische Interpolation verwendeten Extremgrundwasserstände umfassen zum einen gemessene Grundhochwässer oder alternativ, über eine Extremwertstatistik von Ganglinien extrapolierte, zu erwartende Grundhochwasserstände für bestehende Grundwassermessstellen. Im Hinblick auf die flächenhafte Anwendung der Methodik im Freistaat Sachsen wurde sowohl für den Modellaufbau als auch die Regionalisierung der Extremgrund-wasserstände darauf geachtet, ausschließlich eine landesweit vorliegende Datengrundlagen zu nutzen. Die erarbeitete Vorgehensweise zur Erstellung von Gefahrenkarten für Grundhochwassersituationen wurde an einem ein sowohl hydrogeologisches als auch hinsichtlich der Datenverteilung repräsentatives Pilotgebiet in Mittelsachsen erfolgreich getestet.

O 7.4: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 14:30-14:45

Mögliche Ursachen für länger anhaltende Grundwasserhochstände in einem Tagebaurandgebiet

Thomas Müller[1], Karin Heiland[1], Maik Biedermann[1], Joachim Schumacher[1], Susann Wilhelm[2]

[1] *Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH*

[2] *Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH*

Kontakt: th.mueller@ibgw-leipzig.de

Grundwasserhochstände oder ansteigende Grundwasserstände können Gefährdungen von Infrastrukturen (z.B. Gebäude, Straßen) oder Beeinträchtigungen der Landwirtschaft nach sich ziehen. Die Bewertung und Einstufung dieser Ereignisse erfordert zunächst die Kenntnis der Ursachen, wie z.B. (i) meteorologische Extremereignisse oder (ii) der Grundwasserwiederanstieg (GWWA) in ehemaligen Tagebaugebieten. Darüber hinaus ist in jedem Fall eine Einschätzung zu Wiederauftreten und Häufigkeiten, den zu erwartenden Größenordnungen und in Bereichen, wo diese noch nicht erreicht sind, vor allem zu den prognostischen Endgrundwasserständen erforderlich.

Im Zuge der Braunkohlengewinnung wurde teilweise über mehrere Jahrzehnte Grundwasser gehoben. Gebietsabhängig kann das zu Grundwasserabsenkungen von mehr als 50 m geführt haben. Mit den Außerbetriebnahmen der Entwässerungsmaßnahmen nach Einstellung der Tagebaue setzte der Grundwasserwiederanstieg ein. Abgeschlossen ist dieser, wenn das durch den Tagebau verursachte Grundwasserdefizit ausgeglichen ist und sich ein sich selbst regulierender Wasserhaushalt eingestellt hat. Die zentrale Frage bei der Untersuchung und Bewertung dieser Gebiete sind die zu erwartenden mittleren und höchsten Endwasserstände im Grundwasser.

Im Beobachtungsgebiet Lieskau im Süden des Landes Brandenburg, welches sich in ca. 10 bis 15 km Entfernung zum ehemaligen Tagebau Klettwitz befindet, konnten im Zeitraum 2010 bis 2013 Grundwasserstände gemessen werden, welche nicht eindeutig mit (i) oder (ii) zu erklären sind. Ein deutlich erhöhtes Niederschlagsaufkommen im zweiten Halbjahr 2010 und zu Beginn des Jahres 2011 hat großräumig zu einem Anstieg der Grundwasserstände geführt. Im Großteil des Beobachtungsgebietes lagen die gemessenen Anstiege dabei zwischen 0,2 und 0,9 Meter. Als Folge des trockenen Frühjahrs sind ab Mitte des Jahres 2011 die Grundwasserstände wieder abgesunken. In Teilen des Untersuchungsgebietes, die bisher ebenfalls als unbeeinflusst vom ehemaligen Tagebau angesehen wurden, konnte jedoch ein weiteres Ansteigen des Grundwasserniveaus bis zum Jahr 2013 (erneute Feuchtperiode im Mai und Juni) beobachtet werden. Die Anstiege verlaufen kontinuierlich und können bis zu 1,5 m betragen. Auffallend ist hier, dass an diesen Grundwassermessstellen in den 10 Jahren zuvor kein Einfluss des tagebaubedingten Grundwasserwiederanstiegs festgestellt werden konnte.

Wir diskutieren in unserer modellgestützten Studie mögliche Ursachen für das gemessene Verhalten. Das Augenmerk liegt dabei auf den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten und den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Grundwasserhydraulik.

O 7.5: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 14:45-15:00

Hohe Grundwasserstände in Berlin – Probleme, Ursachen und Lösungsansätze

Alexander Limberg[1], Hartmut Verleger[2]

[1] *Geologie und Grundwassermanagement, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt*
[2] *HTW – Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Bauingenieurwesen/Fachgebiet Geotechnik, Umweltschutz*
Kontakt: alexander.limberg@senstadtum.berlin.de

Nachdem man sich noch in den 1980er Jahren in Berlin wegen des stetig steigenden Wasserbedarfs ernsthaft Sorgen um die ständig sinkenden Grundwasserstände gemacht hat, ist seit Beginn der 1990er Jahre das Grundwasser im tief gelegenem Urstromtal wieder flächenhaft angestiegen sodass es örtlich vielfach zu Problemen mit Kellervernässungen gekommen ist. Es werden die Ursachen des Grundwasser-Wiederanstieges der Millionen-Metropole Berlin aufgezeigt. Seit über 100 Jahren haben z. T. sehr starke anthropogene Eingriffe in den Grundwasserhaushalt stattgefunden, die zu kurzfristigen aber auch sehr langanhaltenden Veränderungen des Grundwasserstandes geführt haben. Die beobachteten extrem hohen Grundwasserstände sind sowohl durch den Rückgang der Grundwasserförderung als auch auf die zeitweise sehr hohe Grundwasserneubildung zurückzuführen. Für die richtige Bauwerksplanung erteilt der Landesgrundwasserdienst seit über 60 Jahren Auskünfte zu den höchsten zu erwartenden Grundwasserständen, neuerdings auch online.
http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i219.htm. Soweit dies im Rahmen der öffentlichen Wasserversorgung möglich war, hat der Senat von Berlin seit den 1990er

Jahren gegensteuernde Maßnahmen ergriffen. Im Rahmen eines Runden Tisches Grundwasser wurden in den letzten Jahren zusammen mit Betroffenenverbänden, Behörden, Umweltverbänden und den Berliner Wasserbetrieben eine Schadensanalyse erarbeitet und anschließend ein Konzept zum weiteren Vorgehen vom Abgeordnetenhaus beschlossen. Nach diesem Konzept werden in drei Pilotgebieten im Rahmen der Hilfe zur Selbsthilfe Maßnahmen zur Beseitigung der Bauwerksschäden entwickelt. Einerseits sollen Gutachten zeigen, welche baulichen Sanierungsmaßnahmen möglich und wie teuer sie sind. Andererseits sollen Modellierungen zu Grundwasserhaltungs-Maßnahmen andere Alternativen aufzeigen.

Literatur

Bwk, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V. (2009): Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes für Bauwerksabdichtungen. - BWK-Regelwerk, Merkblatt BWK-M8, Selbstverlag Sindelfingen

Hannappel, S., Hörmann, U. . Limberg, A. (2007): Zeitnahe Erstellung digital verfügbarer Grundwassergleichenkarten im Rahmen des landesweiten Grundwassermanagements in Berlin. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 51, H. 5, S. 215 – 222, Koblenz

Limberg, A., Thierbach, J. (2002): Hydrostratigrafie von Berlin – Korrelation mit dem Norddeutschen Gliederungsschema. – Brandenburgische Geowiss. Beitr., 9, 1/2, S. 65 – 68; Kleinmachnow

Limberg, A., U. Hörmann, Verleger, H. (2010): Modellentwicklung zur Berechnung des höchsten Grundwasserstandes im Land Berlin. – Brandenburger geowissenschaftliche Beiträge, 17 (1/2), 23-37

Limberg, A., U. Hörmann, Verleger, H. (2015): Berlins Grundwasserauskünfte jetzt auch online. – Baukammer Berlin, Nachrichten für die im Bauwesen tätigen Ingenieure, 3/2015

Grundwassergleichenkarten:

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/din_212.htm

Grundwasserstand - tagesaktuelle Messwerte und Ganglinien:

http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=zoomStart&mapId=

kganglinien@senstadt&bbox=13000,21000,18000,25000

Runder Tisch Grundwasser:

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/grundwasser/de/rundertisch/

rtgw.shtml

zeHGW-Artikel (2010):

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/wasserrecht/pdf/hgw-artikel.pdf

zeHGW-Karte (2015):

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i219.htm

O 7.6: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 15:00-15:15

Welche Auswirkungen des Klimawandels lassen sich aus Klimaprojektionen für Grundhochwässer in Deutschland ableiten?

Steffen Bender[1]

[1] *Climate Service Center Germany*
Kontakt: Steffen.Bender@hzg.de

Im Vergleich zu vielen Regionen der Welt werden die Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland eher moderat ausfallen. Klimaprojektionen zeigen, dass die Temperaturen in der Periode 2017-2100 (im Vergleich zu 1971-2000) um 2,1°C bis 4,1°C steigen, während die jährliche Niederschlagssumme nahezu unverändert bleibt (Jacob et al. 2014). Dennoch wird sich das Risiko für Grundhochwässer erhöhen. Denn trotz nahezu gleichbleibender Niederschlagsumme wird sich die bereits heute schon beobachtete innerjährliche Umverteilung der Niederschläge von den Sommer- zu den Wintermonaten weiter fortsetzen. Dadurch werden sich ebenfalls die jahreszeitlichen Entwicklungen der Grundwasserneubildung sowie der innerjährlichen Verlauf der Grundwasserstände verändern, wodurch sich lokal das Grundhochwasserrisiko erhöht. Zusätzlich wird der Klimawandel zu Veränderungen bei der Vegetation führen, wobei insbesondere Verschiebung und Verlängerung der Vegetationsperiode den Grundwasserhaushalt zusätzlich beeinflussen wird. Dadurch ergibt sich insgesamt eine größere Schwankungsamplitude zwischen hohen und niedrigen Grundwasserständen. Darüber hinaus werden Grundwasserhöchststände früher im Jahr auftreten. Sichere Angaben über Ort, Zeitpunkt und Ausmaß sind auf Basis von Klimaprojektionen jedoch nicht möglich, da sie nur eine in sich schlüssige zukünftige Entwicklung unter gegebenen Randbedingungen des Klimasystems aufzeigen (Rechid et al. 2014). Allerdings kann man davon ausgehen, dass im regionalen und lokalen Maßstab die Herausforderung Grundhochwasser weiter zunehmen wird. Dies gilt auch für Orte, in denen dieses Phänomen bisher keine Beachtung findet.

Wie bei allen Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels sowie im Rahmen des diesbezüglichen Risikomanagements ist es zwingend erforderlich, dass bei der Nutzung von Klimaprojektionen eine möglichst große Schar von Modellsimulationen verwendet wird, da einzelne Projektionen nicht repräsentativ sind und die daraus ableitbaren Trends irreführend sein können. Zur Erarbeitung erfolgversprechender Lösungen müssen ganzheitliche und integrative Ansätze gewählt werden, da der Klimawandel viele unterschiedliche und zum Teil konkurrierende Sektoren und Handlungsfelder betrifft. Dabei gilt es auch wasserwirtschaftlich-relevante Anpassungs-, Sanierungs- oder Instandhaltungsverfahren auf den Prüfstand zu stellen. Diese können, beispielweise wie bei der Sanierung alter Abwassersysteme, ungewollt zu einem dauerhaften Anstieg des Grundwassers führen, was das Risiko eines Grundhochwassers zusätzlich erhöhen kann. Aufgrund des geringen Risikobewusstseins in der Bevölkerung und bei Behörden ist es wichtig, das Thema auch in Verbindung mit den Folgen des Klimawandels weiter in den Fokus zu rücken.

Literatur

Jacob, D. et al. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Regional Environmental Change, Vol. 14, No. 2, p. 563-578.

Rechid, D., Petersen, J., Schoetter, R., Jacob, D. (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 1.

Poster

P 7.1

Dürreindizes: Eine Methode zur Charakterisierung von Grundwasserhochständen?

Johannes Christoph Haas[1], Steffen Birk[1]

[1] *Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz, Karl Franzens Universität Graz, Österreich*
Kontakt: johannes.haas@uni-graz.at

Grundwasserhochstände sind zeitlich und räumlich oft eng mit ausgiebigen Regenereignissen und Hochwässern in Oberflächengewässern verknüpft. In ähnlicher Weise sind andauernde Trockenperioden meist nicht nur mit Niedrigwasserabflüssen, sondern auch mit niedrigen Grundwasserständen verbunden. Laut Nobilis & Godina (2006) verursachten das Hochwasser von 2002 und das Dürrejahr 2003 in Österreich Schäden von in etwa gleichem Ausmaß.

Es ist daher naheliegend, hauptsächlich zur Klassifizierung und Charakterisierung von Dürren entwickelte Indizes wie den Standardized Precipitation Index – SPI (McKee et al. 1993) und den Standardized Groundwater Index – SGI (Bloomfield & Marchant 2013) auch zur Untersuchung von Hochwässern bzw. Grundwasserhochständen zu verwenden. Derartige Indizes beruhen auf einer Normierung der Zeitreihen unter Berücksichtigung der statistischen Verteilung von Niederschlagshöhen bzw. Grundwasserständen. Dies erleichtert den Vergleich von Messwerten aus unterschiedlichen Gebieten und ermöglicht auch die Gegenüberstellung unterschiedlicher Messgrößen. So konnten Bloomfield & Marchant (2013) beispielsweise anhand der oben genannten Indizes Korrelationen zwischen meteorologischen Dürren und Niedrigwasserständen im Grundwasser (Grundwasserdürren) aufzeigen.

Der vorliegende Beitrag untersucht am Beispiel des Murtals (Österreich), inwieweit sich solche Indizes eignen, um Ursachen und Wirkungen von Grundwasserhochständen zu charakterisieren. Das Murtal erstreckt sich über 300 km von der Quellregion im alpinen Bereich auf ca. 2000 m Seehöhebis hin zur Österreichisch – Slowenischen Grenze auf ca. 200 m Seehöhe im Grenzbereich zwischen Mediterranem und Pannonischen Klima. Das Testgebiet umfasst somit nicht nur unterschiedliche alluviale Grundwasserleiter, sondern auch ein breites Spektrum klimatischer Bedingungen.

Neben den unmittelbaren Auswirkungen von Niederschlägen ist dabei insbesondere auch die Wirkung von Flusshochwässern auf das Grundwasser von Interesse. Um diese Zusammenhänge aufzuzeigen und zu untersuchen wurden Langzeitdaten für Grundwasserstände, Flusswasserstände und Niederschläge im Murtal untersucht. Hierbei zeigen sich unterschiedliche Verhaltensweisen und Korrelationen von Grundwasser- und Flusshochständen, abhängig von räumlicher Anordnung der Messstellen, Siedlungs-, Landnutzungs- und wasserbaulichen Einflüssen.

Literatur

Nobilis, F. , Godina, R. (2006): Extreme Trockenheit in Österreich, Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft, Springer, 58, 51-58

McKee, T. B.; Doesken, N. J.; Kleist, J. et al. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales, Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17, 179-183

Bloomfield, J. P., Marchant, B. P. (2013): Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach, Hydrology and Earth System Sciences, 17, 4769-4787

P 7.2

Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildungsrate im Stadtgebiet München und ihre potenzielle Auswirkung auf den langjährigen Grundwasseranstieg

Markus Hammerl[1], Herbert Schönwetter[2], Patrick Kotyla[2], Johannes Meßer[3], Kai Zosseder[1]

[1] *Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München*

[2] *Referat für Gesundheit und Umwelt der Stadt München*

[3] *Emscher Wassertechnik GmbH*

Kontakt: kai.zosseder@tum.de

Durch die Auswertung der Messung langjähriger Grundwasserstände im Zeitraum von 1980-2013 wurde im Stadtgebiet von München anhand der 10-jährigen Mittelwerte festgestellt, dass generell ein ansteigender Trend der Grundwasserstände zu verzeichnen ist. Dabei streuen die Grundwasserhöchststände breit über das Stadtgebiet, jedoch ist in zwei Stadtteilen ein maximaler mittlerer Anstieg bis zu ca. 1 m zu beobachten. Die Anstiegsbereiche treten dabei bei lokal verschiedenen Flurabständen und Grundwassermächtigkeiten auf.

Diese Beobachtungen veranlassten weitere Untersuchungen des Referats für Gesundheit und Umwelt der Stadt München (RGU) in Zusammenarbeit mit der TU München zu den Ursachen dieser Entwicklung, insbesondere, da eine mögliche Gefährdung von Bausubstanz durch die steigenden Grundwasserstände besteht. Als Ursachen wurden verschiedene Aspekte, wie die zunehmende Bebauungsdichte, lokal erfolgte Kanalsanierungen oder auch Veränderungen der Grundwasserneubildung durch Änderungen der Versiegelungsdichte oder der klimatischen Bedingungen in Betracht gezogen. Begonnen wurde dabei mit den Untersuchungen zum

möglichen flächendifferenzierten Einfluss der Grundwasserneubildung auf die Entwicklung der Grundwasserstände in der Stadt.

Dafür wurde die Grundwasserneubildungsrate im Münchner Stadtgebiet quantitativ und flächendifferenziert erfasst und der Einfluss der ausschlaggebenden Faktoren untersucht. Die flächendifferenzierte Grundwasserneubildungsrate wurde dabei mit Hilfe des Verfahrens GWneu (Meßer, 2013) berechnet, dass auf urbane Räume adaptiert ist. Dabei gingen die folgenden Eingangsdaten des Münchner Stadtgebiets flächendifferenziert in die Berechnungen ein: Niederschlag, potentielle Verdunstung, Bodenart (nutzbare Feldkapazität), Hangneigung, Flächennutzung (ATKIS), Versiegelung und Flurabstände. Alle Eingangsdaten wurden für die Berechnung als Polygondaten aufbereitet. Die Verdunstung wurde nach dem Verfahren von Bagrov/Glugla (ATV-DVWK, 2002) ermittelt. Um den Einfluss der Stadtentwicklung auf die Grundwasserneubildung zu untersuchen, wurden mehrere Berechnungen mit den zunehmenden Versiegelungsgraden der letzten 30 Jahre durchgeführt. Dafür wurden die Flächennutzungen bzw. Versiegelungsdaten der Jahre 1984, 1994, 2006 und 2011 zur näheren Betrachtung herangezogen und auch die sich ändernden Niederschlagsverhältnisse und potentielle Verdunstung berücksichtigt. Die Berechnungen zeigen lokale Grundwasserneubildungserhöhungen, insbesondere durch die letzteren beiden genannten Einflüsse (siehe Abbildung). Der räumliche Zusammenhang von steigenden Grundwasserständen und Erhöhung der Grundwasserneubildung ist im Weiteren zu prüfen. Mit dem steigenden Versiegelungsgrad im Zuge der Stadtentwicklung ist potentiell mit einer Verringerung der Grundwasserneubildung zu rechnen. Hierzu sind eine detaillierte räumliche Auswertung der Einwirkung des Versiegelungsgrades und die Untersuchung anderer Faktoren als nächste Schritte geplant.

Literatur

Hutter D. (2015): München versumpft.-Süddeutsche Zeitung, Nr.9; München

Meßer, J. (2013): Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa. http//gwneu.de

ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2002): ATV-DVWK-Regelwerk, Band M 504. Verdunstung in Abhängigkeit von Landnutzung, Bewuchs und Boden, Hennef

P 7.3

Auswirkungen von Grundwasserhöchstständen auf die Vitalität der Bäume im Biosphärenreservat Spreewald

Stephan Hannappel[1]

[1] *HYDOR Consult GmbH*
Kontakt: hannappel@hydor.de

Ziel war die Analyse der räumlichen und zeitlichen Zusammenhänge zwischen den aufgetretenen großflächigen Schädigungen und Absterbeereignissen im Unterspreewald und den Sommerhochwässern der Jahre 2010, 2011 und 2012. Dafür wurden sämtliche Rohdaten terminbe-

zogener Wasserstände und Abflüsse von Pegeln sowie Grundwasserstände der behördlichen Messstellen recherchiert und zusammen mit den Daten des Geländehöhenmodells DGM 1 ausgewertet. Zusätzlich war es wichtig, auch die Wechselwirkungen zwischen den Fließen und dem Grundwasser zu analysieren. Da in der Spreewald-Niederung aufgrund des Fehlens mächtiger bindiger Deckschichten, die eine Versickerung des Niederschlagswassers wirksam behindern könnten, flächendeckend hydraulische Verbindungen zwischen dem oberflächennahen Grundwasser und den oberirdischen Gewässern bestehen, können sich relativ kurzfristig anhaltende Niederschlagsereignisse mit resultierenden Hochwassersituationen der oberirdischen Gewässer (Tage bis Wochen) in deutlich länger anhaltenden hohen Grundwasserständen (Wochen bis Monaten) auswirken. Es wurden terminbezogene und flächendifferenzierte räumliche Übersichten zur Grundwasseroberfläche und zum Flurabstand des Grundwassers berechnet.

Insgesamt zeigten sich große Überflutungsgebiete mit Grundwasser über Flur im Januar 2011 sowie fast ausnahmslos nur geringe Flurabstände des Grundwassers mit Beträgen von zumeist nicht mehr als 25 bzw. 50 cm. Darüber Hinausgehende Beträge markieren zumeist kleinräumige Erhebungen des Geländes, die auch nicht natürlichen Ursprunges sein können.

Als zusätzliche hydrologische Berechnungen wurden Berechnungen zur ortskonkreten Dauer der Überflutung im Ergebnis des ausgeprägten Hochwasserereignisses im Sommer bzw. Herbst 2010 durchgeführt. Die Veranlassung dazu bestand in der Überlegung, dass die Bäume vor allem bei langanhaltender (mehrere Wochen) Überflutung in der Vegetationsperiode Schäden ihrer Vitalität erleiden könnten. Ziel war es herauszufinden, wie lange die Überflutung im Zeitraum von Juli 2010 bis Ende Oktober 2010 ortskonkret an einem Standort bestand. Die Berechnungen wurden in zwei Varianten, und zwar - aufgrund der zeitlich zumeist wochenweise vorliegenden Messwerte - jeweils wochenbezogen durchgeführt. Bei der ersten Variante wurde die Gesamtdauer der Überflutung im o. g. Zeitraum berechnet. Bei der zweiten Variante wurde die maximale ununterbrochene Dauer der Überflutung berechnet.

Der Variante 1 wurde ein höherer Grad der Erklärungskraft in Bezug auf die Schadwirkung zugesprochen, da kurzfristige Unterbrechungen der Überflutung von wenigen Tagen oder Wochen bei einem bereits vorgeschädigten Baum keinen nachhaltigen Erholungsprozess mehr bewirken. Erlenbestände können eine bis zu dreiwöchige Überflutung während der Vegetationsperiode nur ungeschädigt überstehen, wenn danach wieder normale Wasserverhältnisse vorliegen. Das war aber beim Hochwasserereignis 2010/11 und in den darauf folgenden Jahren nicht der Fall.

P 7.5

Gekoppelte Modellierung von Grundwasser Oberflächenwasserinteraktionen

Christian Tomsu[1], Patrick Keilholz[1], Bertram Monninkhoff[2]

[1] *Büro München, DHI-WASY GmbH*

[2] *Büro Berlin, DHI-WASY GmbH*

Kontakt: pak@dhigroup.com

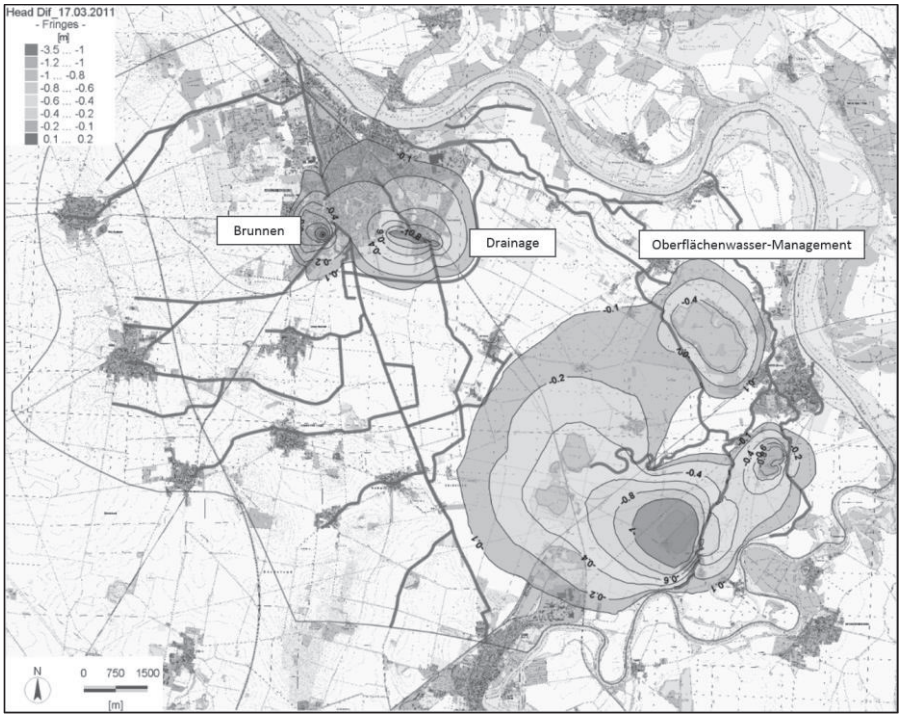


Abb. 1:Auswirkungen der Gegenmaßnahmen auf die Grundwasserstände in Schönebeck

Steigende Grundwasserstände können durch natürliche als auch menschengemachte Ursachen hervorgerufen werden. Neben den offensichtliche Folgen wie Bauwerks- und Vegetationsschäden können aber auch weniger offensichtlichen Auswirkungen entstehen. Die verringerte Speicherkapazität des Bodens kann beispielsweise bei Starkniederschlägen zu heftigeren Überflutungen führen. Um das Risiko von hohen Grundwasserständen auf die Umwelt zu analysieren können gekoppelte Modelle helfen. Durch die Kombination hydraulischer Modelle mit dem Grundwassermodell FEFLOW kann der Wasserhaushalt analysiert und visualisiert werden. Die Praxisbeispiele Schönebeck und Paulinenaue haben unterschiedlichen Problem-

stellungen anhand dieser die Anwendung vorgestellt wird: In Schönebeck an der Elbe kam es durch die Drosselung von Trinkwasserentnahme, Schneeschmelze und Absichtungsmaßnahmen am Abwassersystem zu einem Anstieg der Grundwasserstände die großflächigen Vernässungen verursachten. Dagegen war die Paulinenaue in Brandenburg durch Starkniederschläge betroffen. Durch das weit verzweigen Gewässernetz konnten dort die Niederschläge nicht ausreichend abführt werden und es kam ebenfalls zu hohen Grundwasserständen mit Überflutungen. Mit Hilfe der Modellkopplung zwischen FEFLOW und MIKE 11 konnten für beide Fragestellungen Maßnahmen entwickelt werden, um zukünftige hohe Grundwasserstände zu verhindern (Abb. 1).

P 7.6

Grundwasservorhersage bei Hochwasser

Henning Werker[1]

[1] *Hochwasserschutzzentrale, Stadtentwässerungsbetriebe*
Kontakt: henning.werker@steb-koeln.de

Mit Förderung des Landes NRW wurde eine Grundwassermodell entwickelt, welches die Grundwasserstände bei Hochwasser entsprechend den jeweils erwarteten Wasserständen berechnen kann. Es wurde eine Koppelung von Grundwasser- und Überflutungsmodellen gezielt für den operativen Einsatz im Hochwasserfall entwickelt.

Es dient bei Hochwasser den Einsatzkräften für die Planung ihrer eigenen Einsatzplanungen der nächsten Tage sowie für Beratung und Warnung der Bevölkerung (sowohl außerhalb als auch bei einem HW-Ereignis). Das Modell wurde von der RWTH Aachen entwickelt. Die ANwendung erfolgt durch die Kölner Hochwasserschutzzentrale. AUch ist das Modell übertragbar auf andere Ortschaften.

Gerne würden wir der Fachwelt die Ergebnisse dieses Vorhabens vorstellen. Gerne würden wir auch die Veranlassung und das weitere Vorgehen in Köln aus Sicht eines Anwenders kurz darstellen.

Für weitere Informationen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung. Den Titel des Vortrages bitte ich im Falle einer Berücksichtigung meines Antrages im eigenen Ermessen anzupassen.

8 Isotopen- und Tracermethoden in der Hydrogeologie

Vorträge

O 8.1: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 14:15-14:30

Characterizing possible nitrate sources in a karst area with help of stable isotope measurements and Monte Carlo simulations

Arno Rein[1], Thomas Hanke[1], Anja Wunderlich[1], Florian Einsiedl[1]

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

For characterizing nitrate sources and related biogeochemical processes in aquatic habitats, the analysis of stable isotopes has been established as a well suited methodology during the past years. In the present work we have determined $\delta^{15}N$ and $\delta^{18}O$ values of dissolved nitrate over a period of approximately 10 years, as well as nitrate concentrations in a study area located in the Franconian Alb, Germany. Furthermore, measured tritium contents linked with a lumped-parameter model have been used for groundwater age-dating. Among others, our study aimed at evaluating whether there is a temporal trend in the isotopic composition of dissolved nitrate in a karstic groundwater system after changes in agricultural management strategies. Moreover, we probabilistically investigated the contribution of different processes that could also have led to the observed isotopic shift to heavier isotopes in dissolved nitrate.

In hypothetical studies applying Monte Carlo simulations and analytical groundwater modeling we addressed as a baseline question to which extent and probability (i) mixing of different sources within the catchment, (ii) transport processes in groundwater or (iii) denitrification processes (microbial degradation and isotopic enrichment) could have contributed to the measured isotopic signal. Observed increasing $\delta^{15}N$ values accompanied by elevated nitrate concentrations indicate a source-driven shift away from ammonium-based fertilizers to manure derived from animal waste. This finding could also be supported by first simulation results where mixing and hydrodynamic processes seemed to contribute to a higher extent (higher probability) to observed $\delta^{15}N$ values, as compared to the contribution of denitrification. The latter is assumed to take place in the rock matrix where groundwater exhibits high mean transit times (>100 years), however this water contributes only to a minor portion to groundwater flow. Conduit water, which is characterized by mean transit times below 60 years (and predominantly low potentials for microbial denitrification) is the main component of groundwater flow. This aspect is currently investigated in more detail.

O 8.2: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 14:30-14:45

Interpretation von Konzentrationen und Isotopen-Daten organischer Mikroverunreinigungen in kontrollierten mesoskaligen Transportexperimenten

Olaf Cirpka[1], Heide Schürner[2], Shiran Qiu[2], Dominik Eckert[1], Martin Elsner[2]

[1] *Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen*
[2] *Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz-Zentrum München*
Kontakt: olaf.cirpka@uni-tuebingen.de

Die substanzspezifische stabile Isotopenanalyse (CSIA) organischer Schadstoffe stellt seit einigen Jahren eine wichtige Methode dar, um den Abbau der Schadstoffe von reinen Verdünnungseffekten zu unterscheiden. Die isotopisch schwereren Moleküle werden typischerweise langsamer abgebaut als die isotopisch leichten, sodass es zu einer Anreicherung der schweren Isotopologe im verbleibenden Schadstoff kommt. Die herkömmliche Interpretation der isotopischen Verschiebung erfolgt üblicherweise mit der Rayleigh-Gleichung, deren Anwendbarkeit voraussetzt, dass der Abbau den einzigen isotopenfraktionierenden Prozess darstellt, keine Rückreaktion stattfindet, und dass die Reaktionsrate pseudoerster Ordnung des schweren und leichten Isotopologs in einem festen Verhältnis zueinander steht. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass neben dem Abbau auch Stoffübergangsprozesse (namentlich Sorption und Tranversaldispersion) fraktionierend wirken. Die gemeinsame Interpretation von Isotopen- und Konzentrationsdaten erfordert deshalb die Anwendung reaktiver Stofftransportmodelle, in denen die Isotopologe als selbstständige Substanzen betrachtet werden.

In einem mesoskaligen, quasi-zweidimensionalen Grundwasserversuchsstand (4,83 m × 0,8 m × 0,7 m) am Institut für Grundwasserökologie des Helmholtz-Zentrums München wurde mehrere Experimente, bei denen Toluol, 2,6-Dichlorbenzamide (BAM), Bentazon, Diclofenac und Ibuprofen zusammen mit Bromid und deuteriertem Wasser pulsartig in einen aeroben künstlichen Grundwasserstrom zugegeben wurden. Im Abstand von 4,2 m wurden Zeitreihen der Konzentration und der 13C/12C bzw. 15N/14N erfasst. Aus den Profilen der Konzentrationen und der Isotope konnte durch Modellvergleich ermittelt werden, dass Toluol (mit vernachlässigbarer Kinetik) sorbiert und einem nichtlinearen Abbau nach Michaelis-Menten-Kinetik unterliegt; BAM und Ibuprofen zeigten weder Hinweise auf Abbau noch auf Sorption; Bentazone wurde abgebaut, aber sorbierte nicht; wohingegen Diclofenac sorbierte und abgebaut wurde. Die gleichbleibende Isotopensignatur von BAM bestätigte den Befund des konservativen Verhaltens, wohingegen Diclofenac, Bentazon und Toluol in 13C und 15N angereichert wurden. Allerdings weist die gelichmäßige Anreicherung von des 13C-Profils von Diclofenac im Gegensatz zu einer U-förmigen Anreicherung bei Toluol darauf hin, dass eine Beschreibung der Kinetik nach einem Ratengesetz erster Ordnung angemessen, obwohl die Konzentrationen vergleichbar waren.

Die Ergebnisse zeigen, dass zeitlich gut aufgelöste Isotopenanalyse zusammen mit Konzentrationsmessungen und konservativen Tracern dazu beitragen kann, Prozesse, denen Schadstoffe im Grundwasser unterliegen, zu identifizieren und zu charakterisieren. Die Interpretation ohne Vorliegen einer Zeitreihe bzw. eines räumlichen Profils ist hingegen schwierig. Zur Auswertung sollten Modelle verwendet werden, die in ihren Annahmen weniger restriktiv sind als die Rayleigh-Gleichung.

Literatur

Schürner, H., Maier, M., Eckert, D., Brejcha, R., Neumann, C.-C., Stumpp, C., Cirpka, O.A., Elsner, M. (2015): Compound-Specific Stable Isotope Analysis of a micropollutant pulse in a mesoscale aquifer detects sorption and reveals concentration-dependent biotransformation kinetics. Environ. Sci. Technol. (submitted).

Eckert, D., Qiu, S., Elsner, M., Cirpka, O.A. (2013): Model complexity needed for quantitative analysis of high resolution isotope and concentration data from a toluene-pulse experiment. Environ. Sci. Technol. 47(13): 6900-6907.

Qiu, S. Eckert, D., Cirpka, O.A., Huenniger, M., Knappett, P., Maloszewski, P., Meckenstock, R., Griebler, C., Elsner, M. (2013): Direct experimental evidence of non-first-order degradation kinetics and sorption-induced isotopic fractionation in a mesoscale aquifer: 13C/12C analysis of a transient toluene pulse. Environ. Sci. Technol. 47(13): 6892-6899.

O 8.3: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 14:45-15:00

Identifizierung des biologischen Abbaus von chlorierten Kohlenwasserstoffverbindungen in gering durchlässigen Schichten mittels Stoffspezifischer Isotopen Analyse (CSIA)

Philipp Wanner[1], Beth Parker[2], Ramon Aravena[3], Daniel Hunkeler[1]

[1] *Zentrum für Hydrogeologie und Geothermie (CHYN), Universität Neuchâtel, Rue Emil Argand 11, CH-2000 Neuchâtel, Schweiz*

[2] *School of Engineering, University of Guelph 50, Stone Road East, Guelph, Ontario, Canada N1G 2W1*

[3] *Department of Earth Sciences, University of Waterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3GI*

Kontakt: philipp.wanner@unine.ch

Durch die unsachgemässe Verwendung und Entsorgung von chlorierten Lösungsmitteln treten diese häufig als Schadstoffe im Untergrund auf. Aufgrund der hohen Dichte und der tiefen Viskosität sind chlorierte Lösungsmittel sehr mobil und migrieren oft bis in die gesättigte Zone. Dort akkumulieren sie sich an gering durchlässigen Schichten und diffundieren in diese hinein, was zu einer langfristigen Kontamination der angrenzenden Grundwasserleiter führen kann. In gering durchlässigen Schichten treten jedoch häufig reduzierende Bedingungen auf. Dies kann zu einem biologischen Abbau der chlorierten Kohlenwasserstoffverbindungen führen, was die Gefahr einer langfristigen Kontamination der angrenzenden Grundwasserleiter vermindert. Die Stoffspezifische Isotopen Analyse (CSIA) wird zunehmend für die Quantifizierung des biologischen Abbaus von organischen Schadstoffen in Grundwasserleitern

verwendet. Die Methode benutzt Isotopeneffekte, welche durch den biologischen Abbau verursacht werden. Im Gegensatz zu Aquiferen wurde jedoch noch nicht untersucht, ob CSIA auch in gering durchlässigen Schichten zur Quantifizierung des biologischen Abbaus verwendet werden kann.

Um diese Wissenslücke zu schliessen wurden mehrere detaillierte Kohlenstoff (C) und Chlor (Cl) Isotopenprofile von chlorierten Kohlenwasserstoffverbindungen in einem tonigen Aquitard gemessen. Der Aquitard wurde vor 14,5 Jahren durch eine kontrollierte Lösungsmittelinjektion in das angrenzende Aquifer künstlich kontaminiert. Im Aquitard konnte eine starke Verschiebung der Isotopenverhältnisse hin zu mehr leichten Signaturen (z.B. 23‰ for C Isotopen in TCE) mit zunehmender Tiefe beobachtet werden. Dies lässt auf das Vorhandensein von biologischem Abbau im Aquitard schliessen. Weiter konnten, durch die Verwendung von nummerischen Modellierungen, Abbauraten für die chlorierten Kohlenwasserstoffverbindungen bestimmt werden.

Unsere Resultate zeigen, dass CSIA auch in gering durchlässigen Schichten zur Quantifizierung des biologischen Abbaus von organischen Verbindungen verwendet werden kann. Weiter zeigen unsere Ergebnisse, dass Isotopenprofile sensibler als Konzentrationsprofile auf unterschiedliche Abbaubedingungen in einem Aquitard reagieren. Deshalb sind Isotopeninformationen eine wichtige Ergänzung zu den Konzentrationsdaten, um den Abbau von chlorierten Kohlenwasserstoffverbindungen in gering durchlässigen Schichten nachweisen zu können.

O 8.4: Audimax A, Geb. 30.95, 15.04.2016, 15:00-15:15

Simulation des Transports organischer Schadstoffe mittels reaktiver Fluoreszenztracer

Michael Sinreich[1], Daniel Hunkeler[2]

[1] *Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie, Schweiz*
[2] *Zentrum für Hydrogeologie und Geothermie CHYN, Universität Neuchâtel, Schweiz*
Kontakt: michael.sinreich@bafu.admin.ch

Fluoreszenztracer sind ein gängiges Mittel für die Untersuchung des Stofftransports im Untergrund. Allerdings werden dabei in den seltensten Fällen die tatsächlichen Stoffeigenschaften vermeintlich konservativer Tracer berücksichtigt. So kann es mitunter zu Fehlannahmen bei der Modellierung des Stofftransports kommen, wenn etwa Sorptionsprozesse nicht als solche erkannt und differenziert sind. Andererseits kann man sich das Manko nicht-konservativer Tracer zunutze machen, indem diese bewusst zur Simulation des Verhaltens reaktiver Schadstoffe herangezogen werden.

Für einen solchen Ansatz muss das Verhalten der eingesetzten Markierstoffe gut charakterisiert und mit dem des jeweiligen Schadstoffes abgeglichen werden. Dies geschieht mittels Laborversuchen unter Verwendung der relevanten Festphase. Der getestete Tracer kann dann im

Gelände als Ersatz für einen spezifischen organischen Schadstoff fungieren. Die Ergebnisse eines Tracerversuchs liefern wiederum die nötigen Informationen, um im Rückschluss eine effektive Retardation des Schadstoffes im Untergrund zu modellieren.

Im vorliegenden Fall wurden verschiedene Fluoreszenztracer mit diversen Pflanzenschutzmitteln und Kohlenwasserstoffen verglichen. Dabei kamen v.a. solche Schadstoffe zum Einsatz, bei denen davon auszugehen ist, dass sie aufgrund ihrer nur mässigen Sorption mitunter bis ins Grundwasser verfrachtet werden. Nach einem ersten Screening auf Basis von Schüttelversuchen wurden ausgewählte Stoffe im Säulenversuch getestet und deren Retardationsfaktoren berechnet. In beiden Fällen wurde Aquifermaterial des Untersuchungsgebietes verwendet.

Die Retardation im Grundwasserleiter selbst wurde dann mittels Dipol-Tracerversuch auf lokaler Skala bestimmt. Untersucht wurde ein Lockergesteins-Grundwasserleiter im Schweizer Mittelland. Mehrere Fluoreszenztracer kamen zum Einsatz (u.a. Uranin, Rhodamin WT, Amidorhodamin G), welche simultan ins Grundwasser eingegeben und bei natürlichem Gradienten über eine Fliessstrecke von 5 m in einem zweiten Piezometer beprobt wurden. Analog zum Säulenversuch zeigte sich – bei vergleichbarer dominanter Fliessgeschwindigkeit von etwa 0,2 m/h – ein signifikant verzögerter Durchbruch der Fluoreszenztracer in Bezug auf den Referenztracer Bromid.

Anhand des Pflanzenschutzmittels Chloridazon kann beispielhaft aufgezeigt werden, wie auf diese Weise die Retardation als Folge der Wechselwirkung mit dem Aquifermaterial modelliert und quantifiziert werden kann. Dies geschieht in situ unter ungestörten Bedingungen, ohne dass die Schadstoffe für das Experiment eingebracht werden müssen – was sich im Hinblick auf den Gewässerschutz in der Regel auch verbietet. Auch können diese Ergebnisse auf andere, grösserskalige Markierversuche im selben Grundwasserleiter übertragen werden. Dieser Ansatz ermöglicht ein besseres Verständnis vom Transport spezifischer organischer Schadstoffe, für den gerade hinsichtlich Retardation innerhalb des Grundwasserleiters noch Wissensbedarf besteht.

O 8.5: Audimax A, Geb. 30.95, 16.04.2016, 09:45-10:00

Mythos "Universal Scaling" – Eine kritische Analyse von gemessenen Makrodispersivitäten

Alraune Zech[1], Sabine Attinger[1], Vladimir Cvetkovic[2], Gedeon Dagan[3], Peter Dietrich[4], Aldo Fiori[5], Yoram Rubin[6], Georg Teutsch[7]

[1] *Department Hydrosystemmodellierung, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ*
[2] *Department of Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Schweden*
[3] *School of Mechanical Engineering, Tel Aviv University, Ramat Aviv, Israel*
[4] *Department Monitoring-und Erkundungstechnologien, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ*
[5] *Dipartimento di Ingegneria, Universita di Roma Tre, Rom, Italien*
[6] *Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, California, USA*

[7] *Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ*
Kontakt: alraune.zech@ufz.de

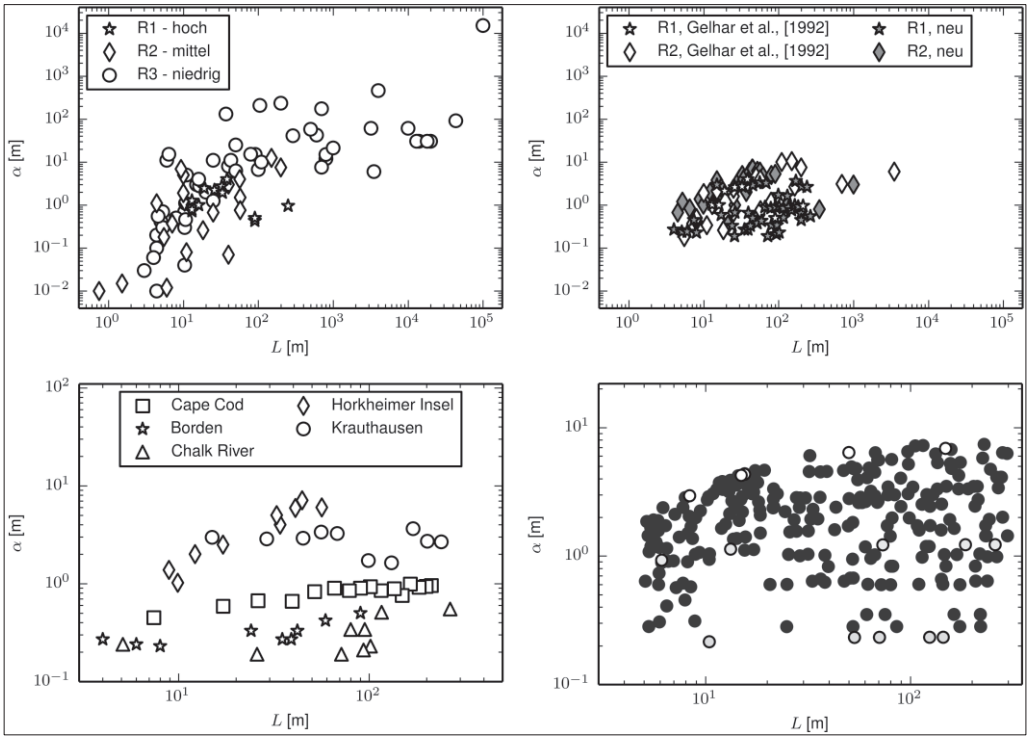


Abb. 1: Makrodispersivitäten α gegen Transportdistanz L: (links oben) aus 52 Experimenten in Lockergestein berichtet in Gelhar et al. [1992] mit Zuordnung der Zuverlässigkeit; (rechts oben) aus 47 Experimenten nach Reanalyse, wobei nur noch hohe und mittlere Zuverlässigkeiten berücksichtigt werden; (links unten) skalenabhängige Makrodispersivität für 5 ausgewählte Aquifere; (recht unten) skalenabhängige Makrodispersivität aus 50 synthetischen Aquiferen zur Illustrierung, dass Felddaten ohne das "universal scaling law" erklärt werden können.

Die Streuung von konservativen Tracern im Grundwasser aufgrund der Aquiferheterogenität wird i.A. durch die Markodispersivität beschrieben. Diese Größe zeigt eine Skalenabhängigkeit, d.h. α wird größer mit zunehmender Distanz L zur Quelle, wobei α im Fick'schen Transportbild konvergiert und in ausreichender Entfernung einen konstanten Wert annimmt.

In der Literatur wurde die Skalenabhängigkeit der Makrodispersität α mit Hilfe eines "universal scaling law" beschrieben, wobei α(L) durch eine universelle Funktion in der Transportdistanz L berechnet wird.

Die Herleitung dieser universellen Funktion basiert auf dem Ansatz einer Regressionsanalyse von gemessenen Makrodispersivitäten verschiedener Aquifere in log-log-Skala. Es existieren vielerlei Versionen einer solchen universellen Funktion von verschiedenen Autoren (u.a. Neuman 1990), je nachdem welche Daten und welcher Analysealgorithmus verwendet wurde.

Basis der Arbeiten ist eine umfangreiche Sammlung von Markodispersitätsdaten aus der Literatur, zusammengetragen durch Gelhar et al. [1992].

Obwohl viele Bedenken diesem Ansatz gegenüber geäußert wurden, finden diese universellen Funktionen als Daumenregel für Transportmodellierung in der Praxis weiter Verwendung; vermutlich weil sie eine einfache und gut zu handhabende Methode sind Markodispersiväten zu schätzen ohne die Heterogenität des Aquifers zu untersuchen.

Unsere Arbeit zielt darauf ab das Konzept des "universal scaling" für Markodispersivität zu hinterfragen. Dafür haben wir eine detailierte Analyse der Felddaten vorgenommen, inklusive der neusten Tracertests, die in der Literatur berichtet werden. Wir spezifieren ein System von Kriterien für die Verlässlichkeit der berichteten Werte, welche als eine Erweiterung der Kriterien von Gelhar et al. [1992] verstanden werden kann.

Die resultierende Sammlung an zuverlässigen Werten zeigt, dass Makrodispersität nicht durch eine universelle Skalenfunktion beschrieben werden kann. Im Gegenteil, unsere Ergebnisse deuten klar darauf hin, dass aus Felddaten bestimmte Makrodispersivitäten signifikant vom Grad der Heterogenität des jeweiligen Aquifers abhängen.

Unsere Studie [Zech et al., 2015] kommt zu dem Schluss, dass Transport und insbesondere die Makrodispersivität formations-spezifisch ist und dass diese nicht auf ein "unique scaling law" degradiert werden kann. Die Charakterisierung der Aquifereigenschaften, wie z.B. die räumlich variable hydraulische Leitfähigkeit, sowie die Verwendung adäquater Modelle ist eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Transportmodellierung.

Literatur

Gelhar, L. W., C. Welty, and K. R. Rehfeldt (1992): A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers, Water Resour. Res., 28(7), 1955–1974, doi:10.1029/92WR00607

Neuman, S. (1990): Universal scaling of hydraulic conductivities and dispersivities in geologic media, Water Resour. Res., 26(8), 1749–1758, doi:10.1029/WR026i008p01749

Zech, A., S. Attinger, V. Cvetkovic, G. Dagan, P. Dietrich, A. Fiori, Y. Rubin, and G. Teutsch (2015): Is unique scaling of aquifer macrodispersivity supported by field data?, Water Resour. Res., 51, doi:10.1002/2015WR017220.

O 8.6: Audimax A, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:00-10:15

Isotopenanalysen und die Ermittlung hydrochemischer Signaturen im Grundwasser des Deckgebirges der Asse

Jens Führböter[1], Peter Schulte[2], Jürgen Sültenfuß[3]

[1] *SE 4.2.2 Asse Fachfragen, Bundesamt für Strahlenschutz*

[2] *Grundwasserschutz und Entsorgung, AF-Consult Schweiz AG*

[3] *Institut für Umweltphysik, Universität Bremen*

Kontakt: jfuehrboeter@bfs.de

Die Schachtanlage Asse II bei Wolfenbüttel ist ein rund 100 Jahre altes Kali- und Salzbergwerk. Zwischen 1967 und 1978 wurden in 125.787 Fässern 46.930 Kubikmeter schwach bis mittelradioaktive Abfälle in einem Teil der ehemaligen Abbaukammern eingelagert. Seit 2009 ist das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) für die Stilllegung der Schachtanlage Asse II verantwortlich.

Seit 1988 besteht ein Grundwasserzufluss aus dem Deckgebirge der Asse-Salzstruktur in das Grubengebäude, der zurzeit ca. 12 m³/Tag beträgt und sowohl für die Betriebs- als für die Nachbetriebsphase ein Risiko darstellt. Zum einen kann ein Grundwasserzufluss die Integrität des Grubengebäudes gefährden und zum anderen können durch den Wasserzutritt Radionuklide aus den Einlagerungskammern mobilisiert werden. Für den Fall, dass nach Stilllegung der Asse radioaktive Stoffe im Grubengebäude verbleiben, ist nicht auszuschließen, dass in der Nachbetriebsphase Radionuklide entlang des heutigen Zutrittspfades in das Deckgebirge austreten können.

In einer umfangreichen Probenahmekampagne hat das BfS Proben aus Grundwassermessstellen und Quellen des Asse-Deckgebirges auf ihre hydrochemische Beschaffenheit – inklusive Begleit- und Spurenstoffen – sowie auf eine Reihe von Isotopen bzw. Isotopenverhältnissen (^{3}H, ^{3}He, ^{4}He, ^{13}C, ^{14}C, ^{18}O, $^{87}Sr/^{86}Sr$) untersuchen lassen.

Die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen der Deckgebirgswässer weisen z.B. durch die große Bandbreite der Verweilzeiten darauf hin, dass analog zu den geologisch-tektonischen auch die hydrogeologischen Verhältnisse äußerst komplex sind, wobei vor allem Fragen zur Dynamik der tiefen Grundwässer aufgeworfen werden.

Aufgrund der komplexen hydrogeologischen Verhältnisse ist es trotz dieser umfangreichen Datenbasis weiterhin schwierig konkrete Fließwege zu identifizieren, auf denen der Lösungszutritt in das Grubengebäude erfolgt. Anhand der Datenlage sind prinzipiell mehrere verschiedene Zutrittspfade möglich.

Ein direkter Abgleich der hydro- und isotopenchemischen Ergebnisse der Grundwässer des Deckgebirges mit den Zutrittswässern im Grubengebäude erweist sich als schwierig. Da es sich bei den Zutrittswässern um keine Primärzutritte handelt, erfolgt bereits vor der Fassung dieser Wässer ein Kontakt mit der Grubenluft. Dies hat eine Veränderung der Isotopengehalte und -verhältnisse (v.a. ^{3}H, ^{14}C) zufolge; weiterhin können Verdunstungs- sowie Lösungs-/Ausfällungsprozesse die Isotopengehalte/-verhältnisse beeinflussen (z.B. beim ^{18}O bzw. $^{87}Sr/^{86}Sr$). Der Zutrittspfad kann aus Gründen der betrieblichen Sicherheit nicht direkt durch z.B. Bohrungen von Über- und Untertage aus erkundet werden, so dass andere Wege gefunden werden müssen, um weitere Erkenntnisse über Lage und Beschaffenheit des Zutrittspfads oder ggf. der Zutrittspfade zu gewinnen.

O 8.7: Audimax A, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:15-10:30

Verwendung radioaktiver Edelgasisotope zur Bestimmung der Austauschdynamik zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern

Christoph Gerber[1], Roland Purtschert[1], Martin Kralik[2], Oliver Schilling[3], Daniel Hunkeler[3], Philip Brunner[3]

[1] *Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut, und Oeschger Centre for Climate Change Research, Universität Bern, Bern, Schweiz*

[2] *Department Umweltgeowissenschaften, Universität Wien, Wien, Österreich*

[3] *Centre of Hydrogeology and Geothermics, University of Neuchâtel, Neuchâtel, Schweiz*

Kontakt: cgerber@climate.unibe.ch

Die Interaktion zwischen Oberflächenwasser (OW) und Grundwasser (GW) ist ein wichtiger hydrologischer Prozess. Sie bestimmt die Abflussdynamik von Fliessgewässern und, im Fall von Flusswasserinfiltration, Menge und Qualität des neu gebildeten Grundwassers. Zur Analyse der Austauschdynamik von OW und GW sind Datierungstracer notwendig. Wie schnell GW-OG Systeme auf Klimaveränderungen oder mehrjährige Wetterphänomene reagieren, hängt im Wesentlichen von der mittleren Verweilzeit des Grundwassers ab.

Der GW-OW-Austausch kann mittels Abflussmessungen, Wassertemperatur, Leitfähigkeit oder Radonmessungen studiert werden. Damit lassen sich Ort und Menge von Grundwasserzuflüssen bestimmen. Zur Datierung des zuströmenden Grundwassers können ^{3}H, SF_6, CFCs sowie ^{4}He Messungen herangezogen werden, welche Zeitskalen von einigen Monaten bis ca. 60 Jahren abdecken. Dazu müssen flussnahe GW Messstellen vorhanden sein. Einfacher ist eine in-situ Beprobung des Flusswassers. Hierbei müssen aber Gasaustauschprozesse mit der Atmosphäre berücksichtigt werden. Außerdem müssen bei allen diesen Tracern (außer ^{3}H) zusätzlich die Infiltrationsbedingungen des GWs bestimmt werden und besonders bei CFCs ist oft auch Kontamination ein Problem. Bei der Datierung von OW-Infiltration ins Grundwasser sind die relevanten Zeitskalen oft so kurz (Tage bis Monate), dass oben erwähnte Tracer nur beschränkt einsetzbar sind.

Diese Präsentation soll aufzeigen, wie ein Teil der angesprochenen Schwierigkeiten mit der Verwendung radioaktiver Edelgasisotopen umgangen werden kann. Dazu wird zuerst ein Überblick gegeben über die Palette an radioaktiven Edelgasisotopen zur Altersbestimmung von Grundwasser (^{222}Rn, ^{37}Ar, ^{85}Kr, ^{39}Ar, ^{81}Kr). ^{222}Rn mit einer Halbwertszeit von 3.8 Tagen ist zum Beispiel für Zeitskalen von einigen Tagen geeignet, während ^{37}Ar mit einer Halbwertszeit von 35 Tagen vielversprechend ist für Zeitskalen von einigen Monaten. Anschließend wird an konkreten Anwendungsbeispielen an der Fischa-Dagnitz bei Wien und Rötenbach und Emme in der Schweiz exemplarisch illustriert, wie diese Tracer zur Bestimmung der Austauschdynamik zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser eingesetzt werden können.

O 8.8: Audimax A, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:30-10:45

Natürliche und künstliche Tracer zur Charakterisierung von hydraulisch induzierten Lösungsvorgängen unter einem Stauwehrkomplex am Neckar

Daniel Straßer[1], Héctor Montenegro[1], Lisa Blechschmidt[2], Tanja Liesch[2], Nico Goldscheider[2]

[1] *Abteilung Geotechnik, Bundesanstalt für Wasserbau*
[2] *Abteilung Hydrogeologie, Karlsruher Institut für Technologie*
Kontakt: daniel.strasser@baw.de

Lösungsempfindlicher Baugrund stellt Planer und Ingenieure vor besondere Herausforderungen. So konnten zahlreiche Schäden an Bauwerken und sogar Dammbrüche auf Lösungsprozesse im Untergrund zurückgeführt werden. Da Gips und Anhydrit im Vergleich zu anderen Mineralen eine relativ hohe Wasserlöslichkeit aufweisen, sind Geländeveränderungen wie Subrosion oder Senkungen in Gipskarstgebieten nicht ungewöhnlich. Veränderungen dieser Art finden in geologisch sehr kurzen Zeiträumen statt und können durch menschliche Eingriffe in die natürlichen geohydraulischen Verhältnisse zusätzlich verstärkt werden. Baumaßnahmen in Oberflächengewässern haben oftmals einen starken Einfluss auf die geohydraulischen Bedingungen in angrenzenden Grundwasserleitern. Ein Beispiel hierfür sind Staustufen an Wasserstraßen. Die Staustufe Hessigheim am Neckar gründet in Gips- und Anhydrithorizonten des Mittleren Muschelkalks. Durch starke Lösungsprozesse im Untergrund mussten bereits mehrfach kostenaufwändige Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, um Setzungen entgegenzuwirken und die Bausubstanz zu erhalten. Zur Verbesserung der geohydraulischen Prozessverständnisse und zur Quantifizierung der Austauschprozesse zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasser wurden im Bereich der Staustufe Hessigheim umfangreiche hydraulische Untersuchungen durchgeführt. Bei Markierungsversuchen zur Identifizierung präferenzieller Fließpfade im Untergrund wurden Tracer sowohl in den Neckar (Uranin) als auch direkt in den Grundwasserleiter (Amidorhodamin G) eingegeben. Die zeitgleiche kombinierte Eingabe der Tracer ermöglichte zusätzlich Rückschlüsse auf die Interaktionsprozesse von Oberflächenwasser- und Grundwasser, sowie die Wirksamkeit bisheriger Sanierungsmaßnahmen. Durch Messung der Sulfatkonzentration in Grund- und Oberflächenwasser konnte der Austauschfluss zusätzlich quantifiziert und aktuelle Auslaugungshorizonte identifiziert werden. Durch Vergleich mit Messwerten aus dem Jahr 1987 konnte das Voranschreiten und die Geschwindigkeit der Lösungsprozesse charakterisiert werden. Eine Kombination der Ergebnisse dieser Versuche und die von zusätzlich durchgeführten hydraulischen Bohrlochversuche ermöglichte die Entwicklung einer detaillierten Modellvorstellung der geohydraulischen Bedingungen am Standort und bildet die Basis für die Planung zukünftiger Sanierungsmaßnahmen.

O 8.9: Audimax A, Geb. 30.95, 16.04.2016, 10:45-11:00

Stabile Wasserisotope als Tracer der Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktion

Marc Schürch[1], Ulrich Schotterer[2], Ronald Kozel[2]

[1] *Abteilung Hydrologie, Bundesamt für Umwelt BAFU*
[2] *Universität Bern, Physikalisches Institut, Klima- und Umweltphysik*
Kontakt: marc.schuerch@bafu.admin.ch

Die stabilen Isotope des Wassermoleküls, Deuterium und Sauerstoff-18, sowie der entsprechende Deuterium-Überschuss markieren den Wasserkreislauf und seine zeitlichen Veränderungen. Im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Modul Wasserisotope ISOT, erhebt das Bundesamt für Umwelt BAFU in der Schweiz seit 1992 Isotopendaten im Niederschlag (13 Stationen) und im Oberflächenwasser (9 Stationen). Die Isotope wurden 2007-2013 an den 50 Messstellen des NAQUA-Moduls TREND (Grundwasserqualität) analysiert.

Das Isotopensignal im Niederschlag überträgt sich auf die Oberflächengewässer und das Grundwasser. Anhand der stabilen Isotope lässt sich somit überprüfen, ob und wie die lokale Information einer Niederschlagsstation durch die unterschiedlichen Vorgänge bei der Abflussbildung eines Fliessgewässers modifiziert wird. Dies hat Einfluss auf die saisonalen Schwankungen im Flusswasser. Die stabilen Wasserisotope stellen somit einen natürlichen Tracer dar, um in Flusstalebenen die Oberflächenwasser-/Grundwasser-Interaktion zu beschreiben. In Abhängigkeit von den Grundwasserverhältnissen kommt es zu jahreszeitlich und räumlich wechselnden In- bzw. Exfiltrations-Verhältnissen entlang der Flüsse mit jeweils charakteristischen Isotopensignaturen im Flusswasser und Grundwasser. Viele Flüsse in der Schweiz haben ein höher gelegenes Einzugsgebiet als das lokale Grundwasser, wodurch im Grundwasser anhand der stabilen Wasserisotope der Anteil des Flusswasser- und des Niederschlagswasserinfiltrats unterschieden werden kann.

Im Raum Bern zum Beispiel ist der Unterschied im Sauerstoff-18 ($d^{18}O$) zwischen dem Fluss Aare und dem Grundwasser mit 2 bis 3 ‰ gross genug, um den jahreszeitlichen Verlauf der Wechselwirkung zwischen Flusswasser und flussnahem Grundwasser verfolgen zu können. Die stabilen Wasserisotope werden hier im Grundwasser an der Messstelle Kiesen beobachtet. Der Förderbrunnen liegt in den Aareschottern mit hydraulischer Anbindung an den Fluss. Die den Grundwasserleiter bildenden Ablagerungen sind hier rund 30 Meter mächtig. Sie weisen eine mittlere Durchlässigkeit von $4{,}2*10^{-3}$ m/s und eine Porosität von 15 % auf. Die mittlere Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers liegt zwischen 8 und 15 m/Tag. Die saisonale Dynamik im $d^{18}O$ ist in der Aare und im Grundwasser ähnlich, wobei die negativen d-Werte des Winterniederschlags durch die hohe Bedeutung von Schmelzwasser in den Sommer verschoben sind. Diese Übereinstimmung im Gang der Isotopensignatur zeigt, dass das Grundwasser

in diesem Bereich – v.a. im Sommer während der Schnee- und Gletscherschmelze – größtenteils durch Flusswasserinfiltration gespiesen wird. Die anhand der stabilen Isotope bestimmten jahreszeitlichen Anteile an Fluss- und Niederschlagswasserinfiltrat stimmen gut mit den Ergebnissen eines grossangelegten Tracerversuchs überein. Während extremer Trockenperioden oder Hochwasserspitzen sind die Mischungsverhältnisse jedoch deutlich verändert, was sich dann auch in der abweichenden Isotopensignatur widerspiegelt.

O 8.10: Audimax A, Geb. 30.95, 16.04.2016, 11:00-11:15

Interaktion von Seen mit Grundwasserkörpern – Stabile Umweltisotope als Tracer für Nachweis, Quantifizierung und Unterstützung für die Modellierung der Seewasserbilanz

Till Harum[1], Albrecht Leis[1], Christian Reszler[1], Andreas Dalla-Via[1]

[1] *Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH*
Kontakt: till.harum@joanneum.at

Anhand von zwei kleinen alpinen Seen mit sehr unterschiedlichen hydrogeologischen Rahmenbedingungen wird dargestellt, dass die stabilen Umweltisotope ^{18}O und ^{2}H relevante Informationen über Verdunstungsprozesse, Zu- und Abstrom von Grundwasser sowie das Zirkulationsverhalten in Seen liefern.

Der in Kärnten (Österreich) gelegene *Klopeiner See* war eines der Testgebiete des ETC-Alpine-Space-Projekts SILMAS, in dem es unter anderem um die Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserhaushalt und Zirkulation alpiner Seen ging (Borasi et al., 2013).

Es handelt sich um einen kleinen meromiktischen See (Einzugsgebiet 2,4 km^2, Seeoberfläche 1,14 km^2, maximale Tiefe 48 m).

Der See wird überwiegend durch kleine Porengrundwasserzutritte alimentiert und hat einen Oberflächenabfluss. Die Zirkulation ist sehr langsam mit einer mittleren Verweilzeit in der Tiefe von rund 7 Jahren (Datierung mit Tritium-Helium-Methode). Untersuchungen auf die stabilen Isotope ^{18}O und ^{2}H belegten die hohe Dominanz der Seeverdunstung für die Wasserbilanz, die langsame Zirkulation im See und einen Verlust von Seewasser zu einer Quelle, deren Seewasseranteil quantifiziert werden konnte. Dies stellte eine wichtige Information für die hydrologische Modellierung der Seewasserbilanz und deren vergangene und zukünftige Entwicklung dar.

Der in den Nördlichen Kalkalpen in der Obersteiermark (Österreich) gelegene *Altausseer See* war Gegenstand einer Studie im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung, Referat Gewässeraufsicht und Gewässerschutz (Harum et al., 2014). Er hat ein intensiv verkarstetes Einzugsgebiet (Fläche 54,5 km^2, Seeoberfläche 2,1 km^2). Der See empfängt seinen

hauptsächlichen Zufluss durch unterseeische Quellen, wie der hohe Abfluss des Sees beweist. Die Lage der unterseeischen Austritte war bisher nicht bekannt.

Im Zuge neuer Tiefenlotungen wurde eine große Hohlform (Trichter) entdeckt, die an der tiefsten Stelle 73 m unter der Seeoberfläche liegt, 23 m mehr als bisher bekannt. Der See weist eine sehr rasche Zirkulation auf mit einer abgeschätzten mittleren Verweilzeit von nur rund sieben Monaten.

Mit dem Ziel der Detektierung von Karstwasserzutritten im See und Nachweis und Quantifizierung des Karstwasserzutritts im Trichter wurden tiefengestaffelte Untersuchungen auf die stabilen Isotope ^{18}O und ^{2}H durchgeführt, weiters erfolgten Beprobungen der Zuflüsse und des Abflusses.

Die Ergebnisse ermöglichten den Nachweis, dass im Bereich des Trichters ein Zutritt von Karstwasser mit hohen Schüttungsschwankungen vorliegt, Mischungsberechnungen und eine Korrelation mit dem Abfluss des Sees ergeben eine Schwankungsbreite zwischen nahezu 0 und über 5900 l/s. Ein Tauchgang in den Trichter bestätigten diese Ergebnisse.

Eine geostatistische Interpolation der am Seegrund gemessenen ^{18}O-Gehalte ermöglichte die Zonierung von Bereichen mit unterschiedlichen grundwasserbürtigen Regimes, die die hohe Alimentation des Sees durch Grundwasser aus einem Bergsturzgebiet und Karstwasser belegen.

Literatur

Borasi, L., Cane, D., Fink, G., Fresner, R., Von Hardenberg, J., Harum, T., Leis, A., Maffiotti, A., Provenzale, A., Reszler, C., Santner, G., Schulz, L., Siligardi, M., Wahl, B., Wolf, T., Zennaro, B. (2013): Climate Change Impacts on Alpine Lakes.- Publ. Book, Silmas Alpine Lakes Network, 184 p, Lyon. www.alpine-space.org/2007-2013/projects/projects/detail/SILMAS/show/.

Harum, T., Leis, A., Reszler, C., Schulz, L., Fresner, R. & Santner, G. (2013): Interaction of lakes with local groundwater systems – environmental isotopes as tool for water balance investigations.- In Richoz S., Dietzel M., Leis A. (Eds., 2013): 12th Austrian Stable Isotope Network Meeting, Graz, November 15th - 16th 2013, Proramm and Abstract volume, Ber. Inst. Erdw. K.-F.-Universität Graz, Band 18, ISSN 1608-8166, Graz.

Harum, T., Leis, A., Reszler, Ch., Dalla-Via, A., Stadler, H. (2014): Hydrologische Untersuchung Altausseer See.- Published report, 51 S, Graz (demnächst Online auf www.steiermark.at/

Schafheutle, M. (2012): Große Karstquelle am Nordufer des Altausseer Sees – Tauchgänge 2.-3.10.2012.- Videodokumentation.

Zötl, J. (1961): Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes.- Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Jg 1960/61, Heft 2, 183 S, Graz.

Poster

P 8.2

Characterization of thermal karst aquifers in Hungary using natural tracers

Anita Erőss[1], Judit Mádl-Szőnyi[1], Heinz Surbeck[2], Ákos Horváth[3], Katalin Csondor[1], Nico Goldscheider[4]

[1] *Abteilung Allgemeine und Angewandte Geologie, Eötvös Loránd Universitaet*
[2] *Nucfilm GmbH, Schweiz*
[3] *Abteilung der Atomphysik, Eötvös Loránd Universitaet*
[4] *KIT Institut für Angewandte Geowissenschaften*
Kontakt: anita.eross@gmail.com

Considerable parts of the global thermal water resources are hosted in carbonate rocks (Goldscheider et al., 2010), also in Hungary, where many of these reservoirs are characterized by natural thermal water discharge, usually at the boundary of outcropping carbonates and adjacent sedimentary basins. These regional discharge areas are favourable sites for the development of hypogenic caves as well. This study summarizes the results of geochemical studies in three thermal karst areas in Hungary, focusing on natural tracers.

The Buda Thermal Karst is situated in the capital city of Hungary. The waters of the three distinct discharge areas within the city are characterized by different temperature and chemical composition: in the North only lukewarm waters (18-24°C, 570-690 mg/l TDS), in the central discharge area both lukewarm (20-35°C, 770-980 mg/l TDS) and thermal waters (40-65°C, 800-1350 mg/l TDS), in the South only thermal water discharge (33-43°C, 1450-1700 mg/l TDS) occur. Radionuclides helped to identify mixing of fluids and to infer the temperature and chemical composition of the end members for the central discharge area. For the southern discharge zone mixing components could not be identified, which suggests different cave formation (Erőss et al., 2012).

The Bükk region in the northeastern part of Hungary is one of the largest karst areas of the country. Owing to the complex geological and structural build-up, the area is largely compartmentalized. Majority of the waters is low mineralized (TDS < 600 mg/l) regardless of their temperatures (8–77 °C). This may indicate deep but relatively short flow paths which might be the consequence of the close vicinity of recharge and discharge areas and their considerable elevation difference (500–600 m). Some thermal wells are characterized by higher TDS (1000-2500 mg/l) and radium content (400-1900 mBq/l). Since these thermal wells are related to hydrocarbon exploration, the elevated radium and TDS content might be explained by the effect of hydrocarbon reservoir fluids (Erőss et al., 2015).

The Villány Thermal Karst area is situated in the southern part of Hungary. Majority of the springs is characterized by lukewarm waters (20-26°C) with 712-930 mg/l TDS. Natural

thermal water discharge (52-62°C, 1100 mg/l TDS) occurred only in Harkány, as a marshland. The sulphur and CO_2 content of these thermal waters may indicate the influence of the adjacent sedimentary basin.

The National Research, Development and Innovation Fund has provided financial support to the project in Villány under the grant agreement no. PD 116227. The research in the Bükk area was supported by the European Union and the State of Hungary, co-financed by the European Social Fund in the framework of TÁMOP-4.2.4.A/ 2-11/1-2012-0001 National Excellence Program. The Buda Thermal Karst research was funded by Shell International E&P and by the Hungarian Scientific Research Fund under the grant agreement no. NK 101356.

References

Erőss, A., Mádl-Szőnyi, J., Surbeck, H., Horváth, Á., Goldscheider, N., Csoma, A.É. (2012): Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary. - J. Hydrol. 426-427:124-137.

Erőss, A., Surbeck, H., Csondor, K., Horváth, Á., Mádl-Szőnyi, J., Lénárt L. (2015): Radionuclides in the waters of the Bükk region, Hungary. - J Radioanal Nucl Ch 303(3): 2529-2533.

Goldscheider, N., Mádl-Szőnyi, J., Erőss, A., Schill, E. (2010): Review: Thermal Water Resources in Carbonate Rock Aquifers. - Hydrogeol J 18(6): 1303-1318.

P 8.3

Understanding of lithium isotope systematics in rivers and subsurface water in a granitic catchment

Christiane Meier[1], Karsten Osenbrück[2], Hans-Michael Seitz[3], Stephan M. Weise[1]

[1] *Department Catchment Hydrology, UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung*

[2] *WESS – Water and Earth System Science, Uni Tübingen*

[3] *Institut für Geowissenschaften, Uni Frankfurt*

Kontakt: stephan.weise@ufz.de

In contrast to other geochemical and isotopic signatures (e.g., $^{87}Sr/^{86}Sr$), the lithium isotopic composition (δ^7Li) of surface- and groundwaters within river catchments is not primarily controlled by the lithology. The lithium concentrations and δ^7Li values are a result of chemical weathering intensity and particularly the formation of secondary minerals that include strong lithium isotope fractionation. As we know from literature, the occurrence and magnitude of this fractionation during the precipitation of secondary minerals was confirmed in several lab experiments. On catchment scale, however, the hydrological conditions and flow processes controlling the enriched lithium isotope signatures, which had been observed in many catchments, are still poorly understood.

During several field trips in 2011, 2013, and 2014, more than 50 samples of river water, subsurface water, glacier melt, and thermal water were collected in an alpine, glacier dominated

catchment in the Pamir Mountains. Additionally, a variety of rock material was taken to represent the regional geology.

We detected a wide range of δ^7Li values in water (δ^7Li from +4.5‰ to +28.1‰), whereas the highest values were found in glacial melt water (δ^7Li = +28.2‰) collected at the glacier snout and from two small tributary streams (δ^7Li of +35‰). The lowest values were found in the samples of thermal water and springs in solid rock (δ^7Li between +4.5‰ and +8.4‰). The samples of river water were placed in between. In contrast to the water samples, the analysis of δ^7Li of samples from the granitic environment of the catchment (n=15) revealed negative values (median of -5.3‰). The riverine samples (main river stream and several tributaries) showed an obvious pattern in their δ^7Li values with a significant difference between north (highly enriched values) and south exposed subcatchments.

We assume that water samples having low δ^7Li values must have attained a chemical and isotopic steady state according to the local geochemical conditions on their flow paths as a result of long residence times and ongoing water-rock-interactions within the subsurface.

Enriched δ^7Li signatures were presumably caused by flow paths with relatively short residence times connecting segments of high with segments of low ratios of weathering (of primary minerals) to precipitation (of secondary minerals) rates, which resulted in a progressive (Rayleigh-type) isotope fractionation and a decrease in Li concentrations.

The differences in δ^7Li values between the subcatchments can be attributed to variations in catchment sizes and therefore different subsurface residence times as well as different weathering characteristics. Subcatchments on the northern boundary showing higher δ^7Li values have smaller catchment areas and shorter flow paths accompanied by shorter transit times. Southern sub basins showed opposite characteristics.

P 8.4

Identifizierung, Charakterisierung und Quantifizierung der Interaktion Grundwasser-See am Beispiel des Bodensees: Ein Toolkit für die nachhaltige Bewirtschaftung der regionalen Wasserressourcen

Catharina Keim[1]

[1] *Lehrstuhl Hydrologie, Universität Bayreuth*
Kontakt: catharina.keim@uni-bayreuth.de

Der Bodensee ist ein tiefer, oligotropher See, welcher über 4 Mio. Menschen in Südwestdeutschland mit Trinkwasser versorgt. Nach einer neuen, detaillierten Seebodenvermessung (Projekt Tiefenschärfe) könnte die Grundwasser-See Interaktion wichtiger sein als bisher angenommen. Um die Grundwasser-See Interaktion besser beschreiben zu können, müssen Grundwasseraustrittstellen identifiziert werden, die Eigenschaften des Grundwassers charakterisiert

werden und die Menge an Grundwasser quantifiziert werden. Das Projekt Seezeichen wird daher die Grundwasser-See Interaktionen mit verschiedenen physikalischen und chemischen Methoden näher untersuchen. Zu den physikalischen Methoden gehören der Einsatz von Flusskammern und die Entwicklung eines thermalen Kartierers. Ziel ist es ein Instrument zu entwickeln, das den Seeboden mit einer guten räumlichen Auflösung thermisch kartiert und dadurch Grundwasserzuflüsse im See identifiziert werden können. Zu den chemischen Methoden gehört der Einsatz von verschiedenen Tracern. Einerseits werden Hauptionen, Cl und stabile und radiogene Isotope untersucht. Diese chemischen Tracer können im Anschluss genutzt werden um Wasserbilanzen eines Sees zu berechnen. Ein anderer chemischer Tracer ^{222}Rn wird benutzt um Grundwassereintrittsstellen zu lokalisieren und zu quantifizieren. Das Ziel des Projektes ist es eine Toolbox mit verschiedenen Methoden zusammenzustellen, welche von anderen Anwendern im Wasserressourcen-Management benutzt werden können. Des Weiteren sollen die Methoden auf andere Seen übertragbar sein.

P 8.5

Quantification of groundwater fluxes and hyporheic exchange in streams and rivers using radon

Benjamin Gilfedder[1], Sven Frei[1]

[1] *Hydrology, Limnologische Forschungsstation*
Kontakt: benjamin-silas.gilfedder@uni-bayreuth.de

A quantitative understanding of groundwater-surface water interactions is vital for sustainable management of water quantity and quality. The noble gas radon-222 (Rn) is becoming increasingly used as a sensitive tracer to quantify groundwater discharge to wetlands, lakes, and rivers: a development driven by technical and methodological advances in Rn measurement. However, quantitative interpretation of these data is not trivial, and the methods used to date are based on the simplest solutions to the mass balance equation. Here we use a new finite element method coupled with the parameter optimisation model PEST to solve the Rn mass-balance to quantify groundwater fluxes to the Rote Main River and the Salzach River. We show how that by using standard methods major errors can be made, but the new method is able to deliver stable groundwater fluxes and hyporheic exchange parameters. This talk will illustrate how Rn can be used as a powerful natural tracer for quantifying groundwater fluxes to streams and rivers.

P 8.6

Isotopic and statistical methods of analyzing groundwater – surface water interaction in an urban area (Munich, Germany)

Patrick Kotyla[1], Arno Rein[2], Anja Wunderlich[2], Kai Zosseder[2], Florian Einsiedl[2]

[1] *Department of Health and Environment of the City of Munich (RGU)*

[2] *Chair of Hydrogeology, Technische Universität München*

Kontakt: patrick.kotyla@tum.de

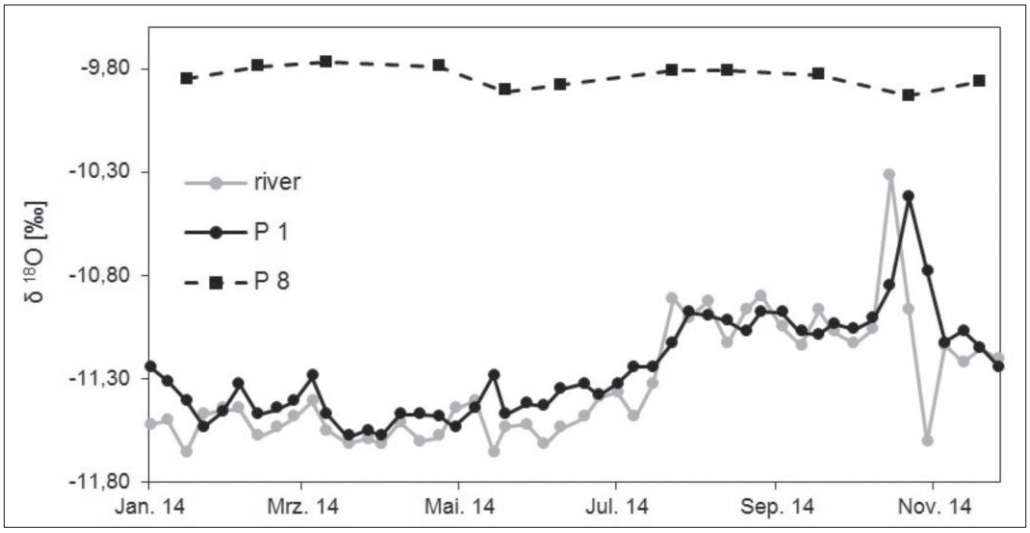


Fig 1: 18O-contents measured in the Isar River and the observation wells P1 and P8 (recharge area)

Bank filtration is the infiltration of surface water, mostly from a river system into a groundwater system. It represents an excellent tool to improve the water quality during its passage through the ground below surface. Therefore, it plays a major role in water supply of many countries around the world. River water infiltration into groundwater also influences the seasonal temperature regime in an aquifer leading to higher temperatures in summer and lower temperatures during the winter months. The effectiveness of a shallow geothermal system may therefore highly depend on the travel time and contribution of river water to the shallow geothermal system (Allen et al. 2003). Consequently, it is important to describe qualitatively and quantitatively the effect of river water infiltration to groundwater systems.

In the last two years, attempts were made to find out the hydraulic and thermal effects of the river Isar on the quaternary aquifer system in Munich. For this purpose, a test field with seven observation wells along the river Isar has been installed in the southern part of Munich including data-loggers for continuous measurements of hydraulic head, groundwater temperature and electrical conductivity. Additionally, a sensor with an integrated data logger was installed in

the Isar upstream of the test site. Weekly measurements of ^{18}O-content in the river and wells were used to determine the contribution of river water into the local groundwater (Fig. 1). The isotopic data was also linked with a 1D-advection-dispersion model to estimate aquifer parameters such as dispersivity and mean transit times (Małoszewski & Zuber 1982). The results obtained from modeling were compared with the analysis of continuously measured specific electrical conductivity data. An easy approach of identifying a single characteristic transfer time between two time series is by cross-correlation, in which the time shift with the highest correlation coefficient is interpreted as the effective travel time (Vogt et al. 2009). Linked with the linear regression coefficient it results in a travel time distribution of the infiltrated groundwater.

The 1D-dispersion-advection model yielded mean residence times between 3 and 20 days for the wells in various distances to the river. The estimated portion of bank-infiltrated river water for the different observation wells ranged from 32 to 100 %. The isotopic data reveal a good agreement with the electrical conductivity measurements for the observation wells near to the river. However, the observation wells far away from the stream show longer mean residence times with electrical conductivity as tracer.

References

Allen, A., Milenic, D. & Sikora, P. (2003): Shallow gravel aquifers and the urban 'heat island' effect: a source of low enthalpy geothermal energy. – Geothermics, 32(4-6):569-578.

Małoszewski, P. & Zuber, A. (1982): Determining the turnover time of groundwater systems with the aid of environmental tracers: I. Models and their applicability. - J. Hydrol., 57 : 207—231.

Vogt, T., Hoehn, E., Schneider, P. & Cirpka, O.A. (2009): Untersuchung der Flusswasserinfiltration in voralpinen Schottern mittels Zeitreihenanalyse. – Grundwasser 14(3), 179-194.

P 8.7

Quantifying Vertical Streambed Fluxes Using Heat as a Tracer: Applying Two Novel Frequency Domain Approaches

Uwe Schneidewind[1], Matthijs van Berkel[2], Christian Anibas[3], Gerd Vandersteen[2], Christian Schmidt[4]

[1] *RWTH Aachen University, Department of Engineering Geology and Hydrogeology*
[2] *Vrije Universiteit Brussel (VUB), Department of Fundamental Electricity and Instrumentation*
[3] *Vrije Universiteit Brussel (VUB), Department of Hydrology and Hydraulic Engineering*
[4] *Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Department of Hydrogeology*
Kontakt: schneidewind@lih.rwth-aachen.de

The quantification of exchange fluxes across streambeds has become an integral part of many studies interested in interaction processes between aquifers and streams. In the field, fluxes can be directly measured with seepage meters. Alternatively, tracers such as heat have been widely applied. Using heat as a tracer to quantify fluxes, it has become standard to obtain temperature

data at different depths in the streambed with multi-level temperature measurement devices. The measured temperature data is then used as input to numerical or analytical models.

Over the past decade several analytical methods (e.g. Hatch et al., 2006; Keery et al., 2007) have been developed for the quantification of vertical exchange fluxes, which make use of the amplitude ratio and phase shift between two temperature signals at different depths. Here we present two recently developed methods, the LPML method (Vandersteen et al., 2015) and then LPMLE3 method (Schneidewind et al., in review) that allow for the quantification of exchange fluxes by solving the 1D partial differential equation for water flow and heat transport in the frequency domain.

Both methods use a maximum likelihood estimator for quantification of the vertical exchange flux and its uncertainty. A local polynomial method is used to split the raw temperature signal into its periodic and transient parts and to isolate the additive noise. However, whereas the LPML method is applicable for a homogeneous semi-infinite streambed assuming only an upper boundary condition (the lower boundary is in infinity), the LPMLE3 method can quantify fluxes for finite streambed subdomains by assigning an additional lower boundary condition. Both methods can use a range of frequencies (e.g. from day-night to seasonal variations) for flux quantification and simultaneously integrate data from many vertically distributed temperature sensors.

The theory behind both methods is presented together with results (Anibas et al., 2015) obtained from the Slootbeek, a small Belgian lowland stream. Here, the vertical streambed flux was quantified at several locations of a small stream section to study its spatial and temporal variability. Additionally, both methods have been tested against the numerical model STRIVE using synthetic data.

References

Anibas, C., Schneidewind, U., Vandersteen, G., Joris, I., Seuntjens, P., Batelaan, O. (2015): From streambed temperature measurements to spatial-temporal flux quantification: Using the LPML method to study groundwater-surface water interaction. Hydrological Processes, doi: 10.1002/hyp.10588.

Hatch, C. E., Fisher, A. T., Revenaugh, J. S., Constantz, J., Ruehl, C. (2006): Quantifying surface water-groundwater interactions using time series analysis of streambed thermal records: Method development. Water Resour. Res., 42, W10410, doi:10.1029/2005WR004787.

Keery, J., Binley, A., Crook, N., Smith, J. W. N. (2007): Temporal and spatial variability of groundwater-surface water fluxes: Development and application of an analytical method using temperature time series. J. Hydrol., 336(1-2), 1–16. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.12.003.

Schneidewind, U., van Berkel, M., Anibas, C., Vandersteen, G., Schmidt, C., Joris, I., Seuntjens, P., Batelaan, O., Zwart, H.J. (2014): LPMLE3 – A Novel Method to Quantify Vertical Variations of Exchange Flux across Streambeds Using Heat as a Tracer. In review with Water Resources Research.

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: 10.1002/2014WR015994.

P 8.8

3D-Modellierung des Wärmetransports als Tracer beim Austausch von Fluss- und Grundwasser

Sascha Oswald[1], Matthias Munz[1], Weishi Wang[1]

[1] *Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Uni Potsdam*
Kontakt: sascha.oswald@uni-potsdam.de

Grundwasserstände stellen nur eine Grundlageninformation dar, um den oft zeitlich und räumlich variablen Austausch zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser zu charakterisieren. Daher bietet sich an, weitere Größen in die Betrachtung mit einzubeziehen. Es sollen zwei Fälle vorgestellt werden, bei denen ein lokales 3D-Grundwassermodell erstellt wurde, bei dem Wärmetransport simuliert wurde, um quantitativ, vollständig und über Zeiträume von Jahren das Fließverhalten im Grundwasser zu beschreiben. Dabei wurden auch - fallspezifisch- weitere gemessene Daten berücksichtigt, zum Teil als Randbedingungen, zum Teil als Größen mit weiterem Informationsgehalt, bspw. elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, DOC und stabile Isotopen. Es wird der Vergleich der gemessenen mit den simulierten Temperaturen vorgestellt, Rückschlüsse daraus diskutiert und auf die Unsicherheit der beteiligten Parameter eingegangen.

P 8.9

Modellgestützte Identifikation von Bereichen mit geogen salinarem und geogen organischem Tiefenwasserzutritt im Rahmen von Bewirtschaftungsuntersuchungen am Potsdamer Wasserwerk Leipziger Straße

Dietmar Schäfer[1], Karsten Zühlke[2], Felix Möhler[1], Silvia Dinse[1]

[1] *GCI GmbH*
[2] *Energie und Wasser Potsdam GmbH*
Kontakt: felix.moehler@gci-kw.de

Die Grundwassergewinnung am Potsdamer Wasserwerk Leipziger Straße unterliegt bei der Bewirtschaftung der Brunnen Restriktionen, die sich aus dem Zustrom hochsalinaren Tiefenwassers begleitet durch sehr huminstoffreiches Grundwasser ableiten. Im gröberen Maßstab sind die hydrogeologischen Strukturen, die den Tiefenwasseraufstieg aus einer pleistozänen Erosionsrinne in der Nähe des Wasserwerks ermöglichen, prinzipiell bekannt. Zur Entwicklung angepasster Bewirtschaftungsstrategien für die einzelnen Wasserwerksbrunnen war jedoch eine Eingrenzung der engräumig am Rinnenrand ausgebildeten Aufstiegspfade notwendig. Ergänzend zu den hierzu durchgeführten Auswertungen des langjährig durchgeführten

Grundwassermonitorings wurden Untersuchungen mit einem dreidimensionalen, instationären und dichtegekoppelten Grundwassermodell durchgeführt. Hierbei wurden verschiedene innovative Modellierungsmethoden zur Ermittlung der Einzugsgebiete der Brunnen in ihrer zeitlichen Veränderlichkeit unter Einbeziehung der an den Brunnen beobachteten Konzentrationsganglinien von TOC und Chlorid angewendet. Durch den sich ergänzenden Einsatz eines speziell entwickelten Wanderpunktverfahrens sowie von Verfahren der Grundwasseraltersmodellierung und einer inversen Transportmodellierung konnte ein Bereich am Rinnenrand ermittelt werden, über den ein besonders intensiver Zutritt der aufbereitungstechnisch problematischen Grundwässer erwartet werden kann. Durch eine anschließende klassische Transportmodellierung konnten ausgehend von diesem Bereich die in den Brunnen beobachteten Problemstoffkonzentrationen gut nachgebildet werden. Auf der Grundlage dieser Informationen wurden Bewirtschaftungsstrategien für die betroffenen Brunnen modellgestützt abgeleitet, mit deren Umsetzung durch den Wasserwerksbetreiber begonnen wurde.

Die beschriebenen zur Identifikation des Zutrittsbereiches angewendeten Methoden erscheinen auch generell gut geeignet zur modellgestützten räumlichen und zeitlichen Rückverfolgung von in Brunnenwässern beobachteten natürlichen oder anthropogenen Tracern.

P 8.10

Durchführung eines Einbohrloch-Markierungsversuches mit Deuteriumoxid und Uranin am Standort des Ökologischen Großprojektes Hydrierwerk Zeitz

Martin Binder[1], Klotzsch Stephan[1], Falk Händel[1], Diana Burghardt[1], Gunnar Laudel[2], Peter Dietrich[3], Rudolf Liedl[1]

[1] *Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft*
[2] *GICON Sanierungsmanagement GmbH*
[3] *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig, Department Monitoring- und Erkundungstechnologien*
Kontakt: martin.binder@tu-dresden.de

Als Teil umfangreicher Erkundungsarbeiten im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes KOPOXI (GICON et al. 2013-2015) zur Planung einer reaktiven Oxidationsmittelemissionswand in Kombination mit zusätzlichen Injektionspunkten wurde im März 2015 ein Markierungsversuch mit Deuteriumoxid und Uranin am Standort des Ökologischen Großprojektes Hydrierwerk Zeitz realisiert. Ziel des Versuches war die Ermittlung von Parametern, welche für eine modellgestützte Prognose der Sanierungsmaßnahme benötigt wurden.

Basierend auf den Informationen voriger Versuche am Standort wurde ein kombinierter Infiltrations-/Förderbrunnentest mit zwischengeschalteter Driftphase als adäquates Verfahren zur Parameterermittlung ausgewählt. Die Durchführung dieses auch als Push-Pull-Test bekannten Einbohrlochverfahrens erfolgte an einer 2“-Grundwasserbeobachtungsmessstelle, welche im

Abstrombereich der geplanten, reaktiven Wand mittels Sonic-Drill-Technologie errichtet und im Bereich des dortigen, oberen Grundwasserleiters verfiltert wurde.

Im Vorfeld des Tracerversuches wurde zunächst Grundwasser mit einer Unterwassermotorpumpe (Grundfos MP1) gefördert, in Wassertanks zwischengespeichert und anschließend mit Deuteriumoxid („Schweres Wasser“) sowie Uranin versetzt. Die Kombination des klassischen Tracers Uranin mit einer Deuterierung des Wassers wurde hierbei mit dem Ziel einer gegenseitigen Verifizierung der Durchbruchskurven eingesetzt. Die Wiedereingabe des markierten Wassers in der etwa einstündigen Push-Phase erfolgte über den gesamten verfilterten Bereich der Grundwassermessstelle. Dieser Eingabephase wiederum folgte eine mehrstündige Drift-Phase unter natürlichen Fließbedingungen. In der finalen Pull-Phase wurde das zehnfache Volumen an Grundwasser (in Relation zum ursprünglichen Eingabevolumen) gefördert, wobei zu ausgewählten Zeitpunkten Probennahmen des geförderten Wassers erfolgten. Die Uraninkonzentration in den Proben wurde mittels Spektralfluorimetrie gemessen; die Bestimmung der Isotopensignatur bezüglich Wasserstoff erfolgte für ausgewählte Proben durch Isotopenverhältnis-Massenspektroskopie. Abschließend wurden die Durchbruchskurven mithilfe eines kleinräumigen Transportmodells nachgebildet, um daraus Informationen u.a. zur Porenraumverteilung abzuleiten. Informationen zur vertikalen Variabilität der hydraulischen Leitfähigkeit (u.a. Flowmeter-Messungen in der Messstelle) wurden hierbei berücksichtigt.

Die hohe Übereinstimmung der zeitlichen Verläufe der im geförderten Wasser ermittelten Uraninkonzentrationen und Stabilisotopensignaturen (siehe Abbildung) weist auf ein konservatives Transportverhalten beider Komponenten hin. Dies ermöglichte die direkte Verwendung der Daten im Rahmen der Parameterermittlung; hierbei konnten realistische und belastbare Werte für die Porenraumverteilung (mobile Porosität, immobile Porosität, Massentransferkoeffizient) abgeleitet werden.

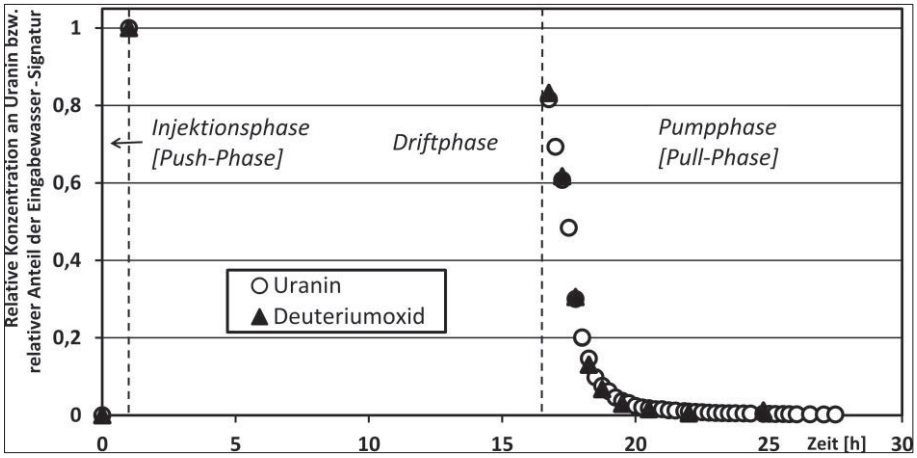


Abb. 1: Durchbruchskurven von Deuteriumoxid und Uranin während des Push-Pull-Markierungsversuches

Literatur

GICON, UFZ, CAU (2013 - 2015): „Entwicklung eines In-Situ-Grundwassersanierungsverfahrens zur Unterstützung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse in der Schadstofffahne durch Kombination einer permanenten Oxidationsmittel-Emissions-Wand mit einer Oxidationsmittel-Injektion - KOPOXI“, Zeitraum 2013 – 2015, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

P 8.11

Multiple Tracertests in einem porösen Medium bei gleichzeitigem Clogging

Andreas Englert[1], Andre Banning[1], Jessica Siegmund[1], Sebastian Freye[1], Thorsten Gökpinar[1]

[1] *Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum*
Kontakt: andreas.englert@rub.de

Transportprozesse im Untergrund werden vor allem von der physikalischen und chemischen Heterogenität des geologischen Mediums bestimmt. Clogging kann diese Heterogenität, und somit den Transportprozess selbst verändern. Um Transport unter solchen Bedingungen zu verstehen und das Potential von multiplen Tracertests zu untersuchen, wurden Säulen- und Sandboxexperimente durchgeführt.

Zur Durchführung der multiplen Tracertests bei gleichzeitigem Clogging wurden neu entwickelte Säulen- und Sandboxmodelle genutzt. In einer ersten Versuchsreihe wurde ein kubischer Säulenaufbau von 0,1 m x 0,1 m x 0,1 m verwendet, um experimentell Strömungs- und Transporteigenschaften von Lockersedimenten zu untersuchen. Hierzu wurden Darcy- und Tracerexperimente wie Folgt durchgeführt: Während die kubische Zelle permanent von ammoniumsulfathaltigem Wasser durchströmt wurde, wurden wiederholt Salztracer injiziert und mit Hilfe von Mikroelektroden am Ein- und Auslauf detektiert. Durch den Einsatz einer Spritze wurde zwischen den Tracerinjektionen wiederholt Bariumchloridlösung in das Zentrum der mit Sediment gefüllten kubischen Zelle eingegeben, was durch die Ausfällung von Bariumsulfat (Baryt) zu Clogging führte. In einer zweiten Versuchsreihe wurde ein Sandboxmodell mit einem Sedimentkörper von 0,3 m x 0,3 m x 0,1 m genutzt. Die hierbei durchgeführten Experimente glichen der ersten Versuchsreihe bezüglich der verwendeten Tracer und Wässer, allerdings wurden Tracerdurchbruchskurven neben Ein- und Auslauf auch an neun Positionen innerhalb des Sedimentkörpers detektiert. Die Injektion der Bariumchloridlösung fand an zwei Positionen im Zentrum des Sedimentkörpers statt. Wie schon in den kleinerskaligen Experimenten wurden auch hier Strömungs- und Transportparameter durch wiederholte Darcy- und Tracerexperimente bestimmt. Am Ende beider Versuchsreihen wurde schichtweise der Sedimentkörper abgetragen, was eine genaue Positionierung der im Zuge der Experimente entstandenen Präzipitate erlaubte. Eine kombinierte Analyse von lokal und im Ensemble gemessenen Durchbruchskurven wird nun zusammen mit numerischen reaktiven Transportmodellierungen genutzt, um effektive und lokale Strömung und Transport in einem porösen Medium unter sukzessivem Clogging besser zu verstehen.

9 Nitrat im Grundwasser – Eintrag, Abbau und Prognose

Vorträge

O 9.1: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 10:15-10:30

Biodiversität senkt Nitratauswaschung aus dem Boden in das Grundwasser

Sophia Leimer[1], Peter Escher[1], Yvonne Oelmann[2], Wolfgang Wilcke[1]

[1] *Institut für Geographie und Geoökologie, KIT*

[2] *Geoökologie, Universität Tübingen*

Kontakt: sophia.leimer@kit.edu

Nitrat-Einträge in das Grundwasser hängen von der Bodenbewirtschaftung und Bodeneigenschaften ab. In Experimenten zum Zusammenhang zwischen Biodiversität und dem Funktionieren von Ökosystemen, steigert Pflanzen-Biodiversität die Biomasseproduktion hauptsächlich auf Grund von komplementärer Ressourcennutzung diverser Pflanzenmischungen. Diese komplementär genutzten Ressourcen umfassen insbesondere Nährstoffe im Boden, wie zum Beispiel Stickstoff. Daher stellt sich die Frage, ob biodiverse Pflanzenmischungen die Nitratauswaschung aus dem Boden senken können.

In einem Grünland-Biodiversitäts-Experiment (Jena-Experiment) messen wir seit 2002 kontinuierlich NO_3-N-Konzentrationen in der Bodenlösung und Wassergehalte in der Hauptwurzelzone (0-30 cm Bodentiefe). Das Jena-Experiment wurde auf vorher gedüngtem Ackerland etabliert und umfasst 82 Plots (20m x 20m) mit 1-60 Pflanzenarten aus 1-4 funktionellen Pflanzengruppen (Leguminosen, Gräser, große Kräuter, kleine Kräuter), die nicht gedüngt werden. Seit 2006 untersuchen wir außerdem in den Biodiversitäts-Exploratorien den Einfluss der Landnutzungsintensität und der mit dieser verbundenen Biodiversität auf die Nitratausträge aus dem Boden in etablierten Grünland-Systemen. Wasserflüsse im Boden wurden mit Hilfe der Bodenwassergehalte und Klimadaten modelliert. Das Produkt der monatlichen Wasserflüsse und NO_3-N-Konzentrationen ergab die monatliche Nitratauswaschung, die anschließend statistisch auf Biodiversitätseinflüsse untersucht wurde.

In Jena war kurz nach der Landnutzungsänderung von gedüngtem Ackerland zu ungedüngtem Grünland die NO_3-N-Auswaschung am höchsten, insbesondere in artenarmen Pflanzenmischungen. Mit steigender Pflanzenartenzahl sank die quantitative NO_3-N-Auswaschung im Winter, wenn die Auswaschung am höchsten war, mehr als im Sommer. Die Präsenz von Leguminosen in der Artenmischung erhöhte und die Präsenz von Gräsern reduzierte die NO_3-N-Auswaschung. Die Präsenz von kleinen Kräutern senkte die NO_3-N-Auswaschung und

dieser Effekt verstärkte sich mit der Zeit. In zwei der drei Biodiversitäts-Exploratorien führte eine höhere Pflanzenartenzahl gleichfalls zu einer Minderung der Nitrat-Auswaschung aus dem Boden. Als wichtigste Steuergröße für die Nitrat-Auswaschung erwies sich allerdings das vor allem durch die Bewirtschaftung beeinflusste C/N-Verhältnis des Bodens.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass durch die Wahl der Pflanzenarten bei der Etablierung von Grünland der Nitrat-Austrag in das Grundwasser beeinflusst werden kann. Insbesondere kurz nach einer Landnutzungsänderung von gedüngtem Ackerland zu ungedüngtem Grünland, kann die NO_3-N-Auswaschung reduziert werden, indem artenreiche Pflanzenmischungen ohne Leguminosen gesät werden. Damit ergibt sich durch die Beeinflussung der Pflanzendiversität eine neue Management-Option, die sowohl dem Umweltschutz (geringere Nitrat-Auswaschung) als auch der Ökonomie (bessere Düngeausnutzung) dient.

Literatur

Leimer, S., Kreutziger, Y., Rosenkranz, S., Beßler, H., Engels, C., Hildebrandt, A., Oelmann, Y., Weisser, W.W., Wirth, C., Wilcke, W. (2014a): Plant diversity effects on the water balance of an experimental grassland. Ecohydrology 7, 1378–1391.

Leimer, S., Oelmann, Y., Wirth, C., Wilcke, W. (2015): Time matters for plant diversity effects on nitrate leaching from temperate grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment 211, 155-163.

Leimer, S., Wirth, C., Oelmann, Y., Wilcke, W. (2014b): Biodiversity effects on nitrate concentrations in soil solution: a Bayesian model. Biogeochemistry 118, 141–157.

Oelmann, Y., Kreutziger, Y., Bol, R., Wilcke, W. (2007): Nitrate leaching in soil: tracing the NO_3^- sources with the help of stable N and O isotopes. Soil Biology and Biochemistry 39, 3024–3033.

Schwarz, M.T., Bischoff, S., Blaser, S., Boch, S., Schmitt, B., Thieme, L., Fischer, M., Michalzik, B., Schulze, E.-D., Siemens, J., Wilcke, W., 2014. More efficient aboveground nitrogen use in more diverse Central European forest canopies. Forest Ecology and Management 313, 274-282.

O 9.2: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 10:30-10:45

Effektiver Nitratumsatz an der Grenzfläche Grundwasser-Oberflächenwasser: Expositions- statt Verweilzeit

Stefan Peiffer[1], Sven Frei[1]

[1] *Lehrstuhl Hydrologie, University of Bayreuth*
Kontakt: s.peiffer@uni-bayreuth.de

Ein effektiver Stoffumsatz in aquatischen Systemen, wie die Entfernung von Nitrat durch Denitrifikation, erfordert eine ausreichende Reaktionszeit. Diese Aussage erscheint trivial, ihre Implikation für die Beurteilung stofflichen Umsatzes erscheint jedoch bei weitem nicht verstanden.

Die Zeit t_{eff}, die für einen effektiven Nitratumsatz zur Verfügung steht, wird durch die zu Grund liegenden reaktonskinetischen Geschwindigkeitsgesetze kontrolliert. Im einfachsten Fall einer Reaktion 1. Ordnung wird t_{eff} häufig berechnet als die Zeit in der 63% der Anfangskon-

zentration verbraucht wurde. Die Zeit t_{eff} entspricht daher dem Kehrwert der Reaktionskonstante $k_{reaction}$. Alternativ kann man den Wert $t_{eff,90\%}$ oder $t_{eff,99\%}$ aus dem entsprechenden Geschwindigkeitsgesetz ableiten. Für einen effektiven Stoffumsatz ist eine minimale Zeit $t > t_{eff}$ nötig, innerhalb derer ein spezifischer biogeochemischer Prozess ablaufen kann. Voraussetzung ist, dass ein transportiertes Wasservolumen Bedingungen ausgesetzt ist, die günstig sind für den spezifischen Prozess, im Falle der Denitrifikation also anoxische Bedingungen.

Diese Expositionszeit τ_{exp} ist nicht notwendigerweise identisch mit der Verweilzeit τ des Wassers in einem bestimmten System oder Fließpfad. Die Expositionszeit kann viel kürzer sein und auch mit der Zeit variieren. Als eine Konsequenz sind Damköhler Zahlen ($Da = \tau_{exp}/t_{eff}$) für die Denitrifikation < 1 möglich (pseudokonservatives Verhalten), obwohl das Wasseralter vergleichbar hoch ist. Wir argumentieren daher, dass der Schlüssel zum Verständnis für die Denitrifikations-Effizienz an der Grenzfläche Grundwasser-Oberflächenwasser (bzw. in Grundwasser-Systemen im Allgemeinen) in der Quantifizierung der Expositionszeit liegt.

Dieser Beitrag zielt daher darauf ab i) Expositionszeiten abzuschätzen für eine effektive Denitrifikation basierend auf einer Analyse von Geschwindigkeitskonstanten für die Denitrifikation, ii) diese Zeitskalen auf typische Verweilzeitenverteilungen zu beziehen wie sie an der *Grenzfläche Grundwasser-Oberflächenwasser* gefunden werden und iii) Implikationen für die Denitrifikationseffizienz natürlicher Systeme zu diskutieren.

Literatur

Oldham, C.; Farrow, D.E.; Peiffer, S. (2013): A generalized Damköhler number for classifying material processing in hydrological systems, Hydrology and Earth System Sciences, 17, 1133-1148

Pinay, G.; Peiffer, S.; De Dreuzy, J.R.; Krause, S.; Hannah, D.M.; Fleckenstein, J.H.; Sebilo, M.; Bishop, K.; Hubert-Moy, L. (2015): Upscaling Nitrogen Removal Capacity from Local Hotspots to Low Stream Order's Drainage Basins, Ecosystems, 18(6), 1101-1120

O 9.3: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 10:45-11:00

New insights into the fate of Nitrate at the Soil – Groundwater interface of riparian corridors by using a novel high resolution monitoring system

Niklas Gassen[1], Nico Trauth[2], Christian Griebler[1], Christine Stumpp[1]

[1] *Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München*

[2] *Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, Department für Hydrogeologie, Leipzig*

Kontakt: niklas.gassen@helmholtz-muenchen.de

Nitrate monitoring systems commonly focus on depth integrated samples of aquifers. In order to better resolve nitrate attenuation processes and redox zonations, depth-specific sampling is required. We herewith present data from a novel high resolution sampling system, installed in a shallow alluvial aquifer of a riparian corridor. The field site is part of the TERENO network and situated next to the Selke river in the northern Harz foreland. Riparian zones are important buffer zones for non-point groundwater contaminants like nitrate. Shallow water tables favour

denitrification, as nitrate rich groundwater comes into contact with anoxic, organic rich layers in hydric soils. To date, riparian research has focused on influences of groundwater-surface water interactions on nitrate removal mechanisms, but little is known about processes occurring at the interface between the saturated and the unsaturated zone during groundwater table fluctuations. With the newly developed sampling well, we are able to obtain water samples both from the saturated and the unsaturated zone with a vertical resolution of 5 cm. For the first time, this enables a determination of governing small scale processes at the soil-groundwater interface and helps to identify spatial zones with high potential for denitrification processes, so called hot spots. First data of our monitoring system show high Nitrate concentrations in the soil water, a zone of lower Nitrate concentrations in the vicinity of the fluctuating water table, and a steep gradient with increasing concentrations 1 m below the water table. We conclude that in the fluctuation zone of the water table, hot spots are created where both nitrification and denitrification processes can occur spatially close to each other and therefore remove nitrogen more effectively from the system. Furthermore, the fluctuating water table enhances the exchange of solutes and triggers hot moments of solute turnover. With these new insights, we are able to improve our understanding of spatial scaling of denitrification processes. This leads to a better prediction and improved management strategies for buffer mechanisms in riparian zones.

O 9.4: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 11:00-11:15

Räumliche Interpolation von Grundwasserqualitätsparametern mit Hilfe von Copulas und Sekundärinformation

Claus Haslauer[1], Theresia Heißerer [2], András Bárdossy [2], Burkhard Schneider [3], Emil Hildenbrand [3], Wolfgang Feuerstein [3]

[1] *Universität Tübingen*
[2] *Universität Stuttgart*
[3] *LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg*
Kontakt: claus.haslauer@uni-tuebingen.de

Basierend auf Punktmessungen soll die Grundwasserqualität (z.B. Nitrat) auf regionaler Skala an Stellen geschätzt werden, an denen keine Messdaten vorliegen. Für diese Aufgabe existieren typischerweise Modelle, die den räumlichen Zusammenhang basierend auf der Geometrie des Messnetzes beschreiben.

Dieser Vortrag stellt Methoden vor, die zusätzlich folgende Eigenschaften berücksichtigen: die statistische Verteilung der Messwerte, einen unterschiedlich starken Zusammenhang in unterschiedlichen Quantilen, zensierte Werte (Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze), und die Zusammensetzung von kategorischer Zusatzinformation in der Nachbarschaft.

Vorhandene Daten zeigten, dass die Zusammensetzung und die Größe der Nachbarschaft um einen Messpunkt herum einen gewissen Einfluss auf den Messwert haben. Diese Eigenschaft

ist über lokal gemischte Verteilungen abbildbar: An jedem Interpolationspunkt wird eine vollständige lokale Verteilung aus den puren Verteilungen der Grundwasserqualität innerhalb der Landnutzungskategorien gemischt. Diese puren Verteilungen für eine bestimmte Nachbarschaftsgröße sind a priori nicht bekannt und werden gemeinsam geschätzt, für alle Gruppen von Sekundärinformation. Bei diesem Vorgehen lässt sich ein Informationsgehalt der Sekundärinformation ermitteln, der Qualitätsparameter-spezifisch und räumlich verteilt ist, und mit dessen Hilfe die Nützlichkeit der Sekundärinformation vor der eigentlichen Interpolation abgeschätzt werden kann.

Der räumliche Zusammenhang wird multivariat mit Hilfe von Copulas beschrieben, die die Randverteilungen mit der multivariaten Verteilung koppeln. Dadurch kann der Prozess der Infiltration über die gemischten lokalen Randverteilungen beschrieben werden, der Prozess des horizontalen Gelöststofftransports über die multivariate räumliche Zusammenhangstruktur.

Die verbesserten geostatistischen hydrogeologischen Modelle werden anhand Messwerten eines großen Messnetzes (~2500 Probenahmestellen) in Baden-Württemberg (~36.000 km^2) anhand der Parameter Nitrat, Chlorid und Barium analysiert, kreuzvalidiert und mit traditionellen geostatistischen Methoden verglichen. Die Sekundärinformation Landnutzung ist als kategorische Variable in einem 30m x 30m Raster verfügbar. Wir zeigen, dass die neuen Methoden nicht nur bessere Schätzwerte liefern, z.B. im Sinn eines mittleren quadratischen Fehlers, sondern auch eine wesentlich realistischere räumliche Struktur der Unsicherheit. Damit sind die vorgestellten Modelle besser als bisherige Modelle.

O 9.5: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 11:45-12:00

Stickstoffspezies im Brandenburger Grundwasser – Eintragsquellen und Umwandlungsprozesse

Silvia Dinse[1], Tania Birner[1], Ute von Daacke[2], Angela Hermsdorf[2], Antje Oelze[2], Jörg-Dieter Kunze[2], Michael Ziesche[1], Kristina Schmidt[1]

[1] *GCI GmbH*

[2] *Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg*

Kontakt: silvia.dinse@gci-kw.de

Die Überwachung der Stickstoffbelastung im Grundwasser Brandenburgs ist Aufgabe des Landesamtes und eine Anforderung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Dabei ist die Trennung zwischen natürlicher Hintergrundkonzentration und anthropogenem Anteil ein wesentlicher Baustein zur Rekonstruktion des Eintragsweges.

In einer landesweiten Auswertung der Grundwasserbeschaffenheit für den Zeitraum 2006–2012 wurden in Brandenburg 1.287 repräsentativ verteilte Grundwassermessstellen beprobt. Analysiert wurden neben den Hauptionen, Metallen und TOC auch verschiedene Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten.

Die Untersuchung zeigt, dass hohe Nitratkonzentrationen (> 15 mg/l) auf den durch große Flurabstände gekennzeichneten Hochflächen dominieren, während eine Stickstoffanreicherung in Form von Ammonium (> 0,5 mg/l) überwiegend in den Brandenburger Niederungen auftritt, die durch ein reduzierendes Milieu im Grundwasser geprägt sind. Dabei nehmen die Niederungen und Täler etwa die Hälfte der Landesfläche ein. Flächenhaft stark erhöhte Gehalte sind auf landwirtschaftliche Einträge und regional beschränkt auf ehemalige Rieselfeldeinträge (NO_3, NH_4) sowie auf Bergbaufolgen (NH_4) zurückzuführen.

Solange oxidierende Bedingungen vorherrschen und der Stickstoffeintrag entsprechend hoch ist, kann Nitrat über weite Strecken verlagert werden. Das erklärt Nachweise in mehr als 20 m Tiefe und bedeckten Grundwasserleitern (bis 300 mg/l). Reduktionsmittel wie Pyrit und organischer Kohlenstoff ermöglichen dagegen eine Denitrifikation unter Bildung von nicht reaktivem Stickstoff, Sulfat und Eisen. In Folge dessen fallen landwirtschaftlich beeinflusste Grundwässer häufig nicht durch hohe Nitrat- sondern erhöhte Sulfatgehalte auf.

Die durch Adsorption an die Feststoffmatrix gebildeten Ammonium-Depots können ein Mehrfaches der Stoffmenge im Grundwasser betragen. Bei Unterbindung oder Reduzierung des anthropogenen Ammoniumeintrags können die Depots durch Rücklösung über lange Zeit für erhöhte Ammoniumgehalte im Grundwasser sorgen.

Über eine statistische Analyse hat Jahnke (2011) eine Methode zur Trennung zwischen geogener und anthropogener Herkunft des Ammoniums im Grundwasser ermittelt. Nach dieser Methode deuten die Analysen von 49% aller untersuchten Messstellen in 2006-2012 auf einen anthropogenen Ammoniumeintrag am jeweiligen Standort hin.

Für die untersuchten Daten im Zeitraum 2006 bis 2012 wurde unter Berücksichtigung dieser Methode eine hydrochemische Typisierung der Messstellen entsprechend ihrer Beeinflussung entwickelt. Es werden die Typen „anthropogen unbeeinflusst“, „landwirtschaftlich beeinflusst“, „schadstoffbeeinflusst“ sowie „Versauerung infolge Bergbau“ unterschieden. In Brandenburg weisen die Analysen von 34% der Messstellen eine landwirtschaftliche Beeinflussung auf und stellen damit den größten Anteil anthropogen beeinflusster Proben. Zehn der insgesamt 40 Grundwasserkörper wurden aufgrund diffuser Nährstoffeinträge in den schlechten chemischen Zustand gesetzt.

Literatur

Jahnke, C. (2011): Genetische Interpretation erhöhter Ammoniumkonzentrationen zur Überprüfung der Grundwassergüte und der Analyse anthropogener und geogener Einflüsse in den Grundwasserkörpern Oderbruch, Prenzlau, Schwedt und Schlepzig. Erarbeitet im Auftrag des LUGV, Abschlussbericht (unveröffentlicht).

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, LUGV (2015): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg 2006–2012 (Veröffentlichung in Vorbereitung).

O 9.6: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 12:00-12:15

Experimentelle und numerische Untersuchungen zum mikrobiellen Nitratabbaupotential unter Berücksichtigung der Pyritverfügbarkeit im Hessischen Ried

Christoph Kludt[1], Irina Engelhardt[2], Christoph Schüth[3]

[1] *Dez. W4 –- Hydrogeologie, Grundwasser, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie*
[2] *Institut für Geologie, Fachbereich Hydrogeologie und Hydrochemie, TU Bergakademie Freiberg*
[3] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Darmstadt*
Kontakt: christoph.kludt@live.de

Mikrobiologische Abbauprozesse tragen maßgeblich zur Minderung der Nitratbelastung in sedimentären Grundwasserleitern bei, indem Nitrat unter Verbrauch von organischem Kohlenstoff (heterotroph) und Eisensulfiden bspw. Pyrit (autotroph) reduziert wird. Allerdings sind diese Phasen in Sedimenten oft nur in Spuren vorhanden und werden im Verlauf der Reaktionen aufgebraucht, so dass der Nitratabbau zum Erliegen kommen kann. Um Maßnahmen im Zuge der EG-Wasserrahmenrichtlinie umsetzen zu können, wurden, aufbauend auf einem Projekt des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie (Weber et al., 2015), das Nitratabbaupotential und die Abbauprozesse an Sedimentproben aus dem Hessischen Ried in Säulenversuchen untersucht.

Das Nitratabbaupotential der Sedimente (in Form von Eisensulfiden und org. Kohlenstoff) wurde mittels Festphasenanalytik (u.a. CRS - chromreduzierbarer Schwefel, IRMS, RFA, TOC/TIC-Analysen und REM-Messungen) quantifiziert und charakterisiert. Die Versuche wurden mit sauerstofffreiem, nitrathaltigem synthetischen Grundwasser über sechs Monate durchgeführt. Anhand von Ionen- und Isotopenbilanzen in der Wasser- und Festphase konnten dabei die Abbauprozesse identifiziert und quantifiziert werden, wobei die messbare Veränderung der Verhältnisse stabiler Isotope ($\delta^{34}S$, $\delta^{18}O$) während des Nitratabbaus eine Dominanz des autolithotrophen Abbaus (Sulfidoxidation) aufgezeigt hat.

Im Verlauf des Versuchs konnten nach einer Adaptionsphase (ohne messbaren Abbau), drei verschiedene Abbauphasen beobachtet werden. Dabei folgte auf einen unvollständigen Nitratabbau mit Nitritbildung, ein vollständiger Abbau ohne Nitritbildung, woraufhin eine Erschöpfungsphase mit nachlassendem bzw. unvollständigem Nitratabbau (mit Nitritbildung) beobachtet wurde.

Für eine eindimensionale reaktive Transportmodellierung der o.g. Versuche wurde die Software HP1 (HYDRUS-1D-PHREEQC) verwendet. Die hydraulischen Parameter wurden mittels inverser Modellierung eines Bromid-Tracerversuchs ermittelt. Darauf aufbauend wurden verschiedene Ansätze zur substrat- und biomasseabhängigen Reaktionskinetik nach Monod (1949) bzw. Michaelis-Menten sowie Prommer & Stuyfzand (2005) auf das vorliegende Modell angepasst.

Ziel ist es, den Beitrag und die Kinetik der Nitratabbauprozesse sowie Abbauphasen in Abhängigkeit des Nitrat- und Substratgehalts zu beschreiben, um Prognosen und Indikatoren für ein Nachlassen des dominanten autotrophen Abbaupotentials in sedimentären Grundwasserleitern zu ermitteln.

Literatur

Monod, J. (1949): The Growth of Bacterial Cultures. Annual Review of Microbiology 3, 371-394, doi:doi:10.1146/annurev.mi.03.100149.002103 Prommer, H. & Stuyfzand, P. J.: Identification of Temperature-Dependent Water Quality Changes during a Deep Well Injection Experiment in a Pyritic Aquifer. Environmental Science & Technology 39, 2200-2209, doi:10.1021/es0486768 (2005)

Weber, F.-A., Bergmann, A., Kämpf, M., Spinola, A., Gerdes, H., Kludt, C., Schüth, C., Allendorf, A., Mikat, H., Berthold, G. (2015): Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in den Grundwasserkörpern des Hessischen Rieds und Lokalisierung von Risikogebieten. -Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden

O 9.7: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 12:15-12:30

Nitrat im Fokus der Grundwasserbewirtschaftung – Hydrogeochemische Modellierung zur Planung und Bewertung flächenbezogener Eintragsminderungsmaßnahmen

Anna Jesußek[1], Carsten Hansen[2], Siegfried Wilde[3], Hilger Schmedding[3]

[1] *Consulaqua Hildesheim – Geoinfometric*

[2] *Consulaqua Hamburg*

[3] *Consulaqua Hildesheim – Geo-Infometric*

Kontakt: a.jesussek@geo-infometric.de

Rund ein Drittel der Grundwasserleiter in Deutschland erreichen derzeit nicht den geforderten „guten“ chemischen Zustand im Hinblick auf Nitrat. In vielen Wassergewinnungsgebieten gewährleisten Abbauprozesse im Grundwasserleiter noch die Minderung der Nitratbelastung, doch die Nitratabbauprozesse führen oft zu nachteiligen Veränderungen der Rohwasserqualität und zu unerwünschten Brunnenalterungsprozessen (DVGW, 2015).

Das Nitratabbauvermögen der Grundwasserleiter ist überwiegend an organische Kohlenstoffverbindungen (C_{org}) und Pyrit gebunden (Leson & Wisotzky, 2012). Mögliche Konsequenzen der Abbauprozesse sind eine Zunahme der Karbonathärte, der Eisenkonzentrationen und/ oder der Verockerungsneigung von Brunnen (Bergmann et al., 2014). Daraus erwächst die Notwendigkeit einer auf die Grund- und Rohwasserqualität bezogenen Bewirtschaftungsstrategie. Diese muss am Eintragsort ansetzen und auf die Flächen zielen, die einen möglichst großen Effekt der oft kostenintensiven Maßnahmen versprechen. Um solche Flächen zu identifizieren, ist ein detailliertes Verständnis der zugrunde liegenden hydraulischen und hydrogeochemischen Prozesse im Einzugsgebiet erforderlich.

Im Rahmen eines vom DVGW und 16 Wasserversorgungsunternehmen geförderten Forschungsprojektes (Bergmann et al., 2013) wurde das Nitratabbauvermögen für 38 Gewinnungsgebiete

mit Hilfe verschiedener hydrogeochemischer Methoden und Modelle (Stoffbilanzierungen, Stoffffluss- und -transportmodelle) untersucht und hinsichtlich seiner „Nachhaltigkeit“ bewertet.

Darauf aufbauend wurde der Anwendungsbereich der Stoffflussmodellierung (Van Berk & Hansen, 2006) im Zuge der Umgestaltung einer Wassergewinnungsanlage erweitert. Anhand der Beschaffenheitsentwicklung des Rohwassers wurden retrospektiv die maßgeblichen hydrogeochemischen Prozesse identifiziert und quantifiziert. Der Nitratabbau über Pyrit und C_{org} im Grundwasserleiter wurde als standortspezifische Ursache für Veränderungen der Rohwasserqualität und Brunnenalterung bestätigt.

Mit dem Stoffflussmodell wurde anhand der Grundwasserbeschaffenheit in Messstellen das Vorhandensein von Pyrit im Anstrom der jeweiligen Messstelle untersucht. Unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse (glaziale Rinnenstruktur) konnte die regionale Verbreitung von Pyrit im Grundwasserleiter eingegrenzt werden. Bezogen auf die Denitrifikationsprozesse mit Pyrit und organisch gebundenem Kohlenstoff war es somit möglich, Herkunftsbereiche („Lieferzonen“) von Hydrogenkarbonat, Eisen und Nitrat einzugrenzen und auf den Einfluss konkreter Nitrateintragsflächen zu beziehen. Auf dieser Grundlage konnte die relative wasserwirtschaftliche „Werthaltigkeit“ von Nutzflächen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Rohwasserqualität und die Alterungsneigung der Brunnen beurteilt werden. Dieser Modellansatz bildet durch seinen direkten Flächenbezug ein fundiertes Planungsinstrument für einen effizienten Einsatz von Maßnahmen zur Eintragsminderung im Wassergewinnungsgebiet.

Literatur

Bergmann, A., Weber, F.-A., Hansen, C., Wilde, S., van Straaten, L., Dietrich, P., Franko, U., Kiefer, J., Rödelsperger, M. (2014): Konsequenzen nachlassenden Nitratabbaus in Grundwasserleitern. DVGW energie wasser-praxis, 2/ 2014: S. 36-42; Bonn.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. (DVGW) (2015): Stickstoffumsatz im Grundwasser. DVGW Information Wasser Nr. 85, 101 S.; Bonn.

Leson, M., Wisotzky, F. (2012): Hydrogeochemische Untersuchungen von Nitrateinträgen in das Grundwasser und möglichen Denitrifikationsprozessen. Grundwasser, 17: 137 – 145.

Van Berk, W., Hansen, C. (2006): Hydrogeochemische Stoffflussmodelle – Leitfaden zur Modellierung der Beschaffenheitsentwicklung von Grund- und Rohwässern. 226 S., ; Springer Verlag, Berlin.

O 9.8: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 12:30-12:45

Hydrogeochemische Kopplung von Nitrat und Uran: Mechanismen und Fallbeispiele

Andre Banning[1], Julia Röder[1], Nadine Pawletko[1], Frank Wisotzky[1], Christine Kübeck[2], Axel Bergmann[2]

[1] *Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl Angewandte Geologie*

[2] *IWW Zentrum Wasser, Wasserressourcen-Management, Mülheim an der Ruhr*

Kontakt: andre.banning@rub.de

Das Schwermetall Uran ist spätestens seit der erstmaligen Einführung eines Grenzwertes in der TrinkwV (10 µg l^{-1}) im Jahr 2011 von besonderer Bedeutung für viele deutsche Wasserversorger. Dies gilt bereits seit langem für das Nitrat, welches v.a. in landwirtschaftlich geprägten Gebieten einen Problemstoff für Trinkwassergewinnungen darstellt.

Die beiden Substanzen weisen eine hydrogeochemische Kopplung auf, die in den meisten Fällen aus der Redoxdynamik von Uran und Stickstoff resultiert: Nitrat kann als Elektronenakzeptor reduziertes U(IV) im Untergrund – z.B. in Form des Minerals Uraninit (UO_2) – zur mobilen Form U(VI) oxidieren, und damit für erhöhte Konzentrationen im Grundwasser sorgen. Ferner sind auch bei der Nitratreduktion entstehende Abbauprodukte in der Lage, reduziertes Uran zu reoxidieren und damit zu remobilisieren: Senko et al. (2002) leiten aus dieser Erkenntnis die Erklärung für hohe Urangehalte in Lösung an belasteten Standorten ab, an denen das Sanierungsziel, eine in-situ-Fixierung von Uran durch Erzeugung reduzierender Verhältnisse, bei Anwesenheit von Nitrat verfehlt wurde. Auch Gu & Chen (2003) führen das von ihnen beobachtete Ausbleiben abiotischer Uranreduktion durch organische Substanz auf Nitratanwesenheit zurück.

In einer Studie zur Verteilung geogener Urankonzentrationen im Grundwasser der USA (Nolan und Weber, 2015) werden weiträumig hohe Konzentrationen in bedeutenden Grundwasserleitern auf den flächenhaften Eintrag landwirtschaftlichen Nitrats zurückgeführt. In Deutschland werden sowohl in Mecklenburg-Vorpommern (erhöhte Urankonzentrationen in Hausbrunnen durch Mobilisierung aus einer Nitrat-induzierten Redoxfront im Untergrund; Schwerdtfeger, 2015) als auch in Bayern (Uran in nitratreduzierenden Grundwässern im Abstrom von Kalkniedermooren; Banning et al., 2013) ähnliche Beobachtungen gemacht.

In einem aktuellen Projekt wurden z.T. über dem Grenzwert liegende Urankonzentrationen im Rohwasser einer Wassergewinnung in der Niederrheinischen Bucht beobachtet, die aus der großräumigen Verteilung geogenen Urans in Deutschland so nicht zu erwarten waren. Untersuchungen zur Hydrochemie, Geochemie und Mineralogie des betroffenen quartären Grundwasserleiters sowie zu Uran-Mobilisierungsprozessen deuten darauf hin, dass die am Standort eingesetzte Methode zur Nitratentfernung zu einer Teillösung des geogen in den Sedimenten vorhandenen Urans führt. Hierbei erscheint die Mobilisierung des zu einem bedeutenden Teil karbonatisch und organisch gebundenen Urans durch Minerallösung bzw. Desorption – ohne maßgebliche Beteiligung von Redoxprozessen – entscheidend zu sein. Im vorliegenden Fall ist demnach nicht von einer direkten hydrogeochemischen Kopplung von Nitrat und Uran, sondern eher von einem Sekundäreffekt durch die Nitratentfernung auszugehen.

Literatur

Banning, A.; Demmel, T.; Rüde, T.R.; Wrobel, M. (2013): Groundwater uranium origin and fate control in a river valley aquifer. – Environmental Science & Technology 47: 13941-13948.

Gu, B.; Chen, J. (2003): Enhanced microbial reduction of Cr(VI) and U(VI) by different natural organic matter fractions. – Geochimica et Cosmochimica Acta 67(19): 3575-3582.

Nolan, J.; Weber, K.A. (2015): Natural uranium contamination in major U.S. aquifers linked to nitrate. – Environmental Science & Technology Letters 2: 215-220.

Schwerdtfeger, B.; Böttcher, G.; Stein, K.; Van Berk, W. (2015): Origin of high uranium concentrations in the groundwater of north-east Germany. – Abstract book AQUA 2015, 42nd IAH Congress, Rom: 37.

Senko, J.M.; Istok, J.D.; Suflita, J.M.; Krumholz, L.R. (2002): In-situ evidence for uranium immobilization and remobilization. Environmental Science & Technology 36: 1491-1496.

Poster

P 9.1

Raum- und Zeitmuster der Nitrat- und Ionenkonzentrationen in der Übergangszone zwischen Fluss und Grundwasser

Nico Trauth[1], Andreas Musolff[1], Jan H. Fleckenstein[1]

[1] *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ*
Kontakt: nico.trauth@ufz.de

Die Interaktion zwischen Fließgewässer und dem Grundwasser ist für viele hydrogeologische und biogeochemische Prozesse von Bedeutung. In der Übergangszone zwischen Fluss und angrenzendem Aquifer, in der sich infiltrierendes Flusswasser mit dem Grundwasser mischt, können Schadstoffe zurückgehalten, umgewandelt oder abgebaut werden. Die Ausdehnung dieser Übergangszone ist abhängig von den hydraulischen Gradienten zwischen Fluss- und Grundwasser sowie den hydrogeologischen Verhältnissen und variiert sowohl durch Abflussereignisse als auch saisonal über das hydrologische Jahr. Damit verknüpft sind somit auch der Eintrag von Stoffen, wie z.B. Sauerstoff und Kohlenstoff in den Aquifer, die biogeochemische Prozesse maßgeblich steuern können.

In einem 2 km langen Abschnitt der Flussaue der Selke, im nördlichen Harzvorland, wurden 28 Brunnen und Piezometer in unterschiedlichem Abstand zum Fluss installiert. Über knapp zwei Jahre wurden Grundwasser, Flusswasser sowie ein kleiner Zufluss zur Selke im vier-wöchigen Abstand beprobt und hinsichtlich Feldparameter, Kationen, Anionen, DOC, sowie N- und O-Isotope analysiert. Der Fokus lag dabei auf der Verteilung und dem Transport von Nitrat sowie einer möglichen Denitrifikation im flussnahen Grundwasser.

Die Ergebnisse zeigen einen starken Einfluss des Fließgewässers auf das angrenzende Grundwasser der sowohl räumlich als auch zeitlich variiert. Anhand der Analysen können generell zwei hydrochemische Endglieder festgestellt werden: 1) Das Flusswasser der Selke mit relativ geringer Ionen- (< 250 mg/l) und Nitratkonzentration (< 10 mg/l) und 2) dem weit vom Fluss entfernten Grundwasser mit hoher Ionen- (>500 mg/l) und Nitratkonzentration (> 50 mg/l). Mit abnehmender Distanz zum Fluss verringern sich die Ionen- sowie Nitratkonzentration, was sowohl auf eine Durchmischung von Grundwasser mit Flusswasser als auch einen reaktiven Umsatz von Nitrat hinweisen kann.

Die Ionenkonzentration im Fluss- und flussnahem Grundwasser ändert sich kurzeitig durch Hochwasserereignisse, ist jedoch auch saisonalen Schwankungen unterworfen. So ist das Chlorid/Nitrat – Verhältnis während der Sommermonate im flussnahen Grundwasser lokal niedriger als in den Wintermonaten was auf eine geringere Nitratkonzentration und damit auf einen möglichen Abbau unter wärmeren Bedingungen hinweist. Damit verbunden sind Verschiebungen in der isotopischen Signatur des Nitrats, die ebenfalls auf Denitrifikation hinweisen.

Die Untersuchungen zeigen die Bedeutung der zeitlich-räumlichen Dynamik der Fluss- und Grundwasser Interaktion für das Transport- und Rückhaltevermögen von Nitrat im flussnahen Grundwasser.

P 9.2

Identifikation von Hot-Spots grundwasserbürtigen Nitrateintrags in Fließgewässer mit Hilfe von Radon

Jan Raulf[1], Ben Gilfedder, Luisa Hopp, Sven Frei, Stefan Peiffer

[1] *Lehrstuhl Hydrologie, University of Bayreuth*
Kontakt: s.peiffer@uni-bayreuth.de

Nitrateintrag in Fließgewässer erfolgt im wesentlich diffus über den Pfad Boden-Grundwasser (Nitratbericht, 2012). Ein Hauptproblem bei der Quantifizierung ist die Unsicherheit hinsichtlich des Orts des Eintrags. N-Eintrag erfolgt nicht flächig über das oberflächennahe Grundwasser sondern entlang von bevorzugten Fliessbahnen die in Kontakt mit den Orten des Eintrags stehen (Pinay et al, 2015). Entsprechend ist es für ein wirksames Management (z. B. Massnahmen zum Nitratabbau) notwendig, diese „Hot Spots“ des Eintrags zu identifizieren.

In diesem Beitrag stellen wir eine erste Feldstudie vor, in der eine Kartierung der Nitratkonzentration und des Grundwasserzustroms mit Hilfe von Radon entlang eines kleinen Fließgewässers in NO-Bayern sowie dessen Quantifizierung mit Hilfe des Models FINIFLUX (Frei et al, 2015) erfolgte.

Literatur

Frei, S.; Gilfedder, B. (2015): Technical Note: FINIFLUX an implicit Finite Element model for quantification of groundwater fluxes and hyporheic exchange in streams and rivers using Radon., Water Resources Research

Nitratbericht (2012): Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Pinay, G.; Peiffer, S.; De Dreuzy, J.R.; Krause, S.; Hannah, D.M.; Fleckenstein, J.H.; Sebilo, M.; Bishop, K.; Hubert-Moy, L. (2015): Upscaling Nitrogen Removal Capacity from Local Hotspots to Low Stream Order's Drainage Basins, Ecosystems, 18(6), 1101-1120

P 9.3

Bewertung aktueller und zukünftiger Uranbelastungen in wasserwirtschaftlich genutzten Porengrundwasserleitern vor dem Hintergrund der aktuellen Nitratproblematik

Christine Kübeck[1], Axel Bergmann[2]

[1] *IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH*
[2] *RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH*
Kontakt: c.kuebeck@iww-online.de

Derzeit liegen für wasserwirtschaftlich genutzte Porengrundwasserleiter keine flächendeckenden Informationen zum Vorkommen uranführender Lockergesteinsformationen vor. Dies ist dahingehend für die Wasserwirtschaft und den Grundwasserschutz als äußerst problematisch zu bewerten, da v.a. in landwirtschaftlich geprägten Regionen mit dem Eintrag von Nitrat in den Grundwasserraum organisch gebundener Kohlenstoff und/oder Pyrit flächenhaft abgebaut wird. Mit dem Verbrauch dieses „Nitratabbaupotentials“ und der Verlagerung der Nitratfront kann es auch zu einer oxidativen Freisetzung des im Sediment gebunden vorliegenden Urans kommen. Diesen Zusammenhang zeigten erste Untersuchungen in den USA, bei denen das Uran durch die Injektion von Nitrat in reduzierte Aquiferbereiche mobilisiert werden konnte. Es ist daher wichtig, das Vorkommen hoher Urankonzentrationen im Grundwasser in den Zusammenhang eines nachlassenden „Nitratabbaupotentials“ in den Porengrundwasserleiter zu stellen.

Insbesondere für Grundwasserkörper, in denen sich ein Nachlassen des Nitratabbaupotentials darstellt, sind folgende Fragen zu beantworten:

- In welchem Umfang liegt Uran an das Vorkommen reduktiver Kapazität gebunden im Sediment vor?
- Kommt es entlang der Redoxfront zu einer Freisetzung von Uran und wie hoch sind derzeit die Urankonzentrationen im Grundwasser?
- Welche Auswirkungen ergeben sich für die Wasserwirtschaft und den Grundwasserschutz auch hinsichtlich eines anhaltenden Eintrags von Nitrat?
- Durch welche wasserwirtschaftlich-technischen Maßnahmen und zu welchen Kosten lassen sich die Urankonzentration im Grundwasser senken?

Es soll geprüft werden, ob die redoxsensitive Mobilität von Uran in Grundwasserleitern als relevant bei der wasserwirtschaftlichen Bewertung von Einzugsgebieten anzusehen ist. Weiterführend sollen im Rahmen des Vorhabens Maßnahmen diskutiert werden, die zu einer langfristigen Senkung der Urankonzentration im Grund- und Rohwasser führen können bzw. präventiv zum Schutz von Grundwasserressourcen eingesetzt werden können.

11 Identifikation hydrogeologischer Prozesse mit Spurenstoffen

Vorträge

O 11.1: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 14:15-14:30

Analytik organischer anthropogener Spurenstoffe – Anforderungen und Lösungsstrategien des Projektes „AGRO“

Karsten Nödler[1], Tobias Licha[2]

[1] *Abteilung Analytik und Wasserbeschaffenheit, TZW: DVGW – Technologiezentrum Wasser*
[2] *Abteilung Angewandte Geologie, Georg-August-Universität Göttingen*
Kontakt: karsten.noedler@tzw.de

Organische anthropogene Spurenstoffe wie Pharmazeutika, Pflanzenschutzmittel und Süßstoffe können praktisch überall in der aquatischen Umwelt nachgewiesen werden (Nödler et al. 2013; Hillebrand et al. 2014). Hinsichtlich ihrer physikochemischen Eigenschaften und Abbaubarkeit ist das Spektrum dieser Verbindungen äußerst breit gefächert, was in einem sehr spezifischen Umweltverhalten resultiert. Es bietet sich daher die Möglichkeit, diese Verbindungen beispielsweise als multifunktionale Indikatoren für die Charakterisierung von Aquifereigenschaften, Grundwasserchemie und Grundwasserhydraulik zu verwenden. Um diesen Ansatz effektiv verfolgen zu können, müssen entsprechend leistungsfähige (Simultan-)Analysenmethoden bereitgestellt werden, die sowohl ein breites Stoffspektrum abdecken als auch bei großen Probenserien mit variabler Matrix verlässliche Ergebnisse liefern können. Große Probenserien können je nach Umfang zu instrumentellen Engpässen führen und auch die Distanz zwischen Probenahmeort und Analyselabor stellt zusätzliche nicht zu unterschätzende Herausforderungen an Probentransport und Lagerung.

Aufgrund der hohen Verdünnung überschreiten individuelle Spurenstoffkonzentrationen am Projektstandort „Gallusquelle“ (Schwäbische Alb) nur selten 10–20 ng/l. Die niedrigen Konzentrationen bedingen zum einen effektive Extraktionsmethoden zur Anreicherung der Analyten. Zum anderen müssen spezielle Vorkehrungen getroffen werden, um biotische und abiotische Vorgänge, die zwischen Probenahme und eigentlicher Analyse zu einem Stoffverlust und damit Minderbefunden führen können, auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Ein prominentes Beispiel für eine solche kritische Substanz ist Koffein: Der Stoff wird üblicherweise schnell biologisch abgebaut, weshalb er bereits erfolgreich als Indikator für frisches unbehandeltes Abwasser eingesetzt wurde (Hillebrand et al. 2012). Je nach Wassermatrix können in Wasserproben bereits nach wenigen Tagen signifikante Konzentrationsunterschiede zu beobachten

sein. Zusätzlich handelt es sich bei Koffein um eine Substanz aus unserem täglichen Leben, weshalb ein Kontakt von Probe bzw. Oberflächen, die mit der Probe in Kontakt kommen, und Körperflüssigkeiten wie Schweiß und Speichel unbedingt vermieden werden muss. Im hochmodernen Laborumfeld stellt dies üblicherweise kein Problem dar, bedarf bei zeitlich hochaufgelöster Probenahme und Probenvorbereitung im Feld allerdings größter Sorgfalt.

Im Tagungsbeitrag soll auf die speziellen Herausforderungen an die Analytik im BMBF-Projekt „AGRO“ eingegangen werden. Es werden die besonderen Anforderungen (Probenahmefrequenz, Stoffspektrum und Konzentrationsbereich, Stoffverluste bei Probenlagerung sowie die Fallstricke im kontaminationsfreien Umgang mit Proben) sowie Lösungsansätze und ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

Literatur

Nödler, K., Hillebrand, O., Idzik, K., Strathmann, M., Schipersky, F., Zirlewagen, J., Licha, T. (2013): Occurrence and fate of the angiotensin II receptor antagonist transformation product valsartan acid in the water cycle - A comparative study with selected β-blockers and the persistent anthropogenic wastewater indicators carbamazepine and acesulfame, Water Research 47: 6650–6659.

Hillebrand, O., Nödler, K., Licha, T., Sauter, M., Geyer, T. (2012): Caffeine as an indicator for the quantification of untreated wastewater in karst systems, Water Research 46: 395–402.

Hillebrand, O., Nödler, K., Geyer, T., Licha, T. (2014): Investigating the dynamics of two herbicides at a karst spring in Germany: Consequences for sustainable raw water management, Science of the Total Environment 482–483: 193–200.

O 11.2: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 14:30-14:45

Distributive numerische Modellierung der Verweilzeitenverteilung in Karstgrundwasserleitern

Sandra Oehlmann[1], Tobias Geyer[2], Tobias Licha[1], Martin Sauter[1]

[1] *Angewandte Geologie, Georg-August-Universität Göttingen*

[2] *Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg*

Kontakt: soehlma@gwdg.de

Karstgrundwasserleiter zeichnen sich durch ihre hohe Heterogenität aus, die oft durch die Ausbildung von drei Fließkompartimenten mit unterschiedlicher Durchlässigkeit und Porosität charakterisiert ist: schnelle Strömung innerhalb des Karströhrensystems, vergleichsweise langsame Strömung innerhalb des Feinkluftsystems und nahezu stagnierendes Wasser innerhalb der porösen Gesteinsmatrix (Tripel-Porositäts-System). Dadurch weist das Wasser eine hohe Bandbreite an Verweilzeiten auf, was einen signifikanten Einfluss auf die Quellwasserqualität haben kann. So kann zum Beispiel an der Gallusquelle (Schwäbische Alb) sowohl ein Austrag von Atrazin gemessen werden, das sich bereits seit über 20 Jahren im System befindet, als auch von Koffein, das im Grundwasser eine Halbwertszeit von nur wenigen Tagen aufweist (Hillebrand et al., 2012, 2014).

Um das Risiko von Quellwasserkontaminationen abschätzen zu können, ist es darum essentiell die Verweilzeiten des Wassers entlang der unterschiedlichen Fließwege quantitativ zu beschreiben. In dieser Arbeit wurde hierfür ein distributives numerisches Modell verwendet. Da bisher übliche Modellverfahren in der Regel nur ein oder zwei Kompartimente für Karstgrundwasserleiter berücksichtigen und daher nicht das gesamte Verweilzeitenspektrum widergeben können, wurde ein neues Modellverfahren entwickelt. Dieses kann durch die Kombination eines Hybrid- und eines Doppel-Kontinuum-Ansatzes alle drei „Porositätskompartimente" und ihre jeweiligen Verweilzeiten explizit simulieren und deckt damit das Spektrum der Wasserwegsamkeiten im Grundwasser ab.

Die Methode wurde auf ein stationäres Grundwasserströmungsmodell der Gallusquelle angewandt, das zuvor an den mittleren jährlichen Quellschüttungen mehrerer Quellen, an der Standrohrspiegelhöhenverteilung und an zwei künstlichen Markierungsversuchen kalibriert wurde (Oehlmann et al., 2013, 2015). Für die Verweilzeitenkalibration wurde zusätzlich das mittlere Grundwasseralter an der Gallusquelle verwendet, welches bereits in vorangegangenen Arbeiten durch Messung von Umwelttracern bestimmt wurde.

Mithilfe des Modells kann die gesamte Bandbreite an Verweilzeiten, die durch die Spurenstoffe angezeigt wird, unter Verwendung realistischer Parameter wiedergegeben werden. Parameteranalysen zeigen, dass die Grundwasseralter vor allem auf die Verteilung der Grundwasserleitermächtigkeiten und Porositäten sowie auf die Grundwasserneubildung sensitiv reagieren. Für die Quellschüttung essentielle Parameter wie die Geometrie des Karströhrensystems und die hydraulische Leitfähigkeit des Feinkluftsystems haben für die Verweilzeiten eine eher untergeordnete Bedeutung. Das fertige Modell kann zur Prognose langfristiger Entwicklungen genutzt werden. Zum Beispiel eine Änderung der mittleren Grundwasserneubildung, etwa aufgrund des Klimawandels, hätte einen großen Einfluss auf die Verweilzeiten im System.

Literatur

Hillebrand, O., Nödler, K., Licha, T., Sauter, M. & Geyer, T. (2012): Caffeine as an indicator for the quantification of untreated wastewater in karst systems – Water Research, 46: 395-402.

Hillebrand, O., Nödler, K., Geyer, T. & Licha, T. (2014): Investigating the dynamics of two herbicides at a karst spring in Germany: Consequences for sustainable raw water management – Sci. Total Environ., 482-483: 193-200.

Oehlmann, S., Geyer, T., Licha, T. & Birk, S. (2013): Influence of aquifer heterogeneity on karst hydraulics and catchment delineation employing distributive modeling approaches – Hydrol. Earth Syst. Sci., 17: 4729-4742.

Oehlmann, S., Geyer, T., Licha, T. & Sauter, M. (2015): Reducing the ambiguity of karst aquifer models by pattern matching of flow and transport on catchment scale – Hydrol. Earth Syst. Sci., 19: 893-912.

O 11.3: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 14:45-15:00

Die künstlichen Süßstoffe Acesulfam und Cyclamat als Indikatorenpaar für Abwasser in einem Karsteinzugsgebiet (Gallusquelle, Schwäbische Alb)

Johannes Zirlewagen[1], Ferry Schiperski[1], Olav Hillebrand[2], Karsten Nödler[3], Tobias Licha[2], Traugott Scheytt[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Berlin*

[2] *Geowissenschaftliches Zentrum, Universität Göttingen*[3] *TZW Karlsruhe*

Kontakt: johannes.zirlewagen@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.

Am Beispiel des Einzugsgebietes der Gallusquelle (Schwäbische Alb) wurden die beiden künstlichen Süßstoffe Acesulfam und Cyclamat hinsichtlich ihrer Eignung als Abwasserindikatoren im Karst untersucht. Die beiden Stoffe haben sich bereits in Oberflächen- und Grundwasser als Abwasserindikatoren bewährt. 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 CYC/ACE-Verhältnisse weisen somit auf frisches unbehandeltes Abwasser hin, niedrige CYC/ACE-Verhältnisse dagegen auf altes Abwasser.

Im Untersuchungsgebiet wurde zunächst ein Mischwassersystem mit Regenüberlaufbecken und dem Bach Fehla als wesentliche potentielle Eintragsquellen für unbehandeltes bzw. behandeltes Abwasser identifiziert. In beiden wurden Konzentrationen und Massenströmen der Süßstoffe bestimmt. Konzentrationen im Mischwasser des Regenüberlaufbeckens wurden ebenfalls zu Überlaufereignissen analysiert.

Das Quellwasser wurde nach verschieden starken Neubildungsereignissen ereignisorientiert beprobt und u.a. auf organische Spurenstoffe 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.

Über hohe CYC/ACE-Verhältnisse ließ sich frisches Abwasser eindeutig identifizieren. Behandeltes und altes unbehandeltes Abwasser könnten beide im Quellwasserauftreten, ließen sich jedoch allein anhand der Süßstoffe nicht eindeutig unterscheiden. Bei hinreichender Kenntnis der Eintragsfunktion konnte Cyclamat nicht nur als Indikator sondern auch quantitativ als

Tracer verwendet werden. Zudem folgte der Verlauf der Durchbruchskurve von Cyclamat dem Auftreten von fäkalen Indikatorbakterien.

Die Analyse und Interpretation von organischen Spurenstoffen als Indikatoren ist ein vielversprechendes Werkzeug für die Karsthydrogeologie, besonders wenn die Möglichkeiten klassischer hydrochemischer Methoden durch natürliche Hintergrundkonzentrationen und starke Signaldämpfung begrenzt sind.

O 11.4: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 15:00-15:15

Zusammenhang von organischen Spurenstoffe und hydro-sedimentären Prozessen in einer Karstquelle (Gallusquelle, Baden-Württemberg)

Ferry Schiperski[1], Johannes Zirlewagen[1], Olav Hillebrand[2], Karsten Nödler[3], Tobias Licha[4], Traugott Scheytt[1]

[1] *Technische Universität Berlin, Angewandte Geowissenschaften, Hydrogeology Research Group, Ernst-Reuter-Platz 1, 10587 Berlin*

[2] *Geonik GmbH, Leipziger Str. 349, 34123 Kassel*

[3] *TZW, Karlsruher Str. 84, 76139 Karlsruhe*

[4] *Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen, Abt. Angewandte Geologie, Goldschmidtstrasse 3, 37077 Göttingen, Deutschland*

Kontakt: schiperski@tu-berlin.de

Aufgrund ihrer besonderen hydraulischen Eigenschaften weisen Karst-Aquifere eine hohe Vulnerabilität auf. Verschiedene Parameter, wie Trübe, gelöster organischer Kohlenstoff oder die Partikelgrößenverteilung wurden bisher als Indikatoren für Veränderungen der Wasserbeschaffenheit vorgeschlagen. Allen Parametern gemeinsam ist, dass sie eher unspezifisch bezüglich der eigentlichen Quellen von Kontamination sind. Dagegen sind organische Spurenstoffe (organic micropollutants-OMPs) wie künstliche Süßstoffe oder Herbizide inzwischen als herkunftsspezifische Indikatoren in Karsteinzugsgebieten deutlich spezifischer. Die online Messung von elektrischer Leitfähigkeit und Trübe erlaubt es, hydro-sedimentäre Prozesse aus deren Hystereseverhalten abzuleiten. Wir untersuchen die Möglichkeiten aus der Kombination der herkunftsspezifischen Eigenschaften der OMPs und der hydro-sedimentären Prozesse allgemeine Aussagen zum Auftreten organischer Spurenstoffe am Standort zu treffen. Die Untersuchungen wurden an der Gallusquelle während eines Hochwasserereignisses im Frühjahr 2013 durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen prinzipiell den Zusammenhang zwischen hydrosedimentären Prozessen und dem Auftreten von OMPs. So ist das Herbizid Atrazin, das der Aquifer Matrix entstammt, im Quellwasser bis zu dem Zeitpunkt detektierbar, zu dem erstmals resuspendierte Partikel in der Quelle auftraten. Das Herbizid Metazachlor, das über Ackerflächen infiltriert, ist assoziiert mit Perioden des direkten Transportes von Partikeln von der Erdoberfläche des Einzugsgebietes. Der künstliche Süßstoff Cyclamat wurde als Abwasserindikator eingesetzt, allerdings konnten weder die hydro-sedimentären Prozesse noch andere

eingesetzte Leitparameter die Anwesenheit von Cyclamat anzeigen. Der systematische Zusammenhang von hydro-sedimentären Prozessen und dem Verhalten von OMP könnte ein nachhaltiges Rohwassermanagement in Karst-Aquiferen unterstützen und deutlich verbessern.

O 11.5: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 15:45-16:00

Auftreten von Antibiotika-Resistenzgenen, fäkalen Mikroorganismen und Microbial Source Tracking-Markern in einer Karstquelle

Claudia Stange[1], Andreas Tiehm[1]

[1] Abteilung Umweltbiotechnologie und Altlasten, DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe
Kontakt: claudia.stange@tzw.de

Karst-Systeme werden für die Trinkwassergewinnung genutzt, aber sind für ihre Vulnerabilität gegenüber fäkalen Kontaminationen bekannt. In dieser Studie wurden das Auftreten von Antibiotika-Resistenzgenen (ARG), fäkalen Indikatorbakterien, pathogenen Mikroorganismen und Microbial Source Tracking-Markern untersucht. Die Qualität des Rohwassers wurde über einen längeren Untersuchungszeitraum und unter Extrembedingungen (Starkregen, Hochwasser) erfasst.

Das Auftreten von elf Antibiotika-Resistenzgenen (tet(A), tet(B), tet(C), tet(K), sul1, sul2, dfrA1, dfrA12, ermB, aadA und blaSHV) und pathogenen Mikroorganismen (Legionella pneumophila, Pseudomonas aeruginosa, Campylobacter spp. sowie humane Polyomaviren) wurde mittels molekularbiologischer Methoden (PCR) untersucht. Zusätzlich wurden fäkale Indikatorbakterien im Kulturverfahren, die Trübung und elektrische Leitfähigkeit sowie die Karstquellschüttung erfasst. Darüber hinaus wurden Kultur-unabhängige Microbial Source Tracking (MST)-Werkzeuge für die Identifizierung von fäkalen Verschmutzungsquellen angewendet.

Von den elf untersuchten ARG wurde die beiden Sulfonamid-Resistenzgene sul1 und sul2 und das Trimethoprim-Resistenzgen dfrA1 am häufigsten nachgewiesen. Insbesondere nach Starkregenereignissen, die zu hohen Quellschüttungen führten, wurden ein starker Anstieg an ARG, sowie E. coli und Enterokokken beobachtet. Über MST-Analysen konnte das Auftreten von humanen Genmarkern zu diesen Zeitpunkten nachgewiesen werden.

Die Verunreinigung mit Antibiotika-Resistenzen und fäkalen Indikatorbakterien konnte durch die MST-Marker auf Einträge von Abwasser zurückgeführt werden. Andere potentielle Eintragspfade, wie z.B. eine Pferdehaltung im Einzugsgebiet, erwiesen sich als weniger relevant. Auf Basis der erfolgreich eingesetzten molekularbiologischen Analysen konnten Empfehlungen für gezielte Maßnahmen zum Schutz des Rohwassers abgeleitet werden.

Danksagung: Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Nachhaltige Wassernutzung“ (NaWaM-RiSKWa) gefördert (Projekt AGRO, Förderkennzeichen 02WRS1277C).

O 11.6: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 16:00-16:15

Mehrwert von Stoffeinsatzerhebungen bei der Interpretation von Spurenbelastungen im Grundwasser

Stephanie Zimmermann[1], Michael Sinreich[1], Ronald Kozel[1]

[1] *Bundesamt für Umwelt BAFU*
Kontakt: stephanie.zimmermann@bafu.admin.ch

Spurenstoffe werden im Rahmen der regulären Messkampagnen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA ein- bis viermal pro Jahr an den Messstellen analysiert. Damit wird die Grundbelastung im Grundwasser erfasst. In der Pilotstudie „Dynamik Pflanzenschutzmittel“ wurde untersucht, ob signifikante Konzentrationsspitzen von Pflanzenschutzmitteln zwischen den üblichen Beprobungszeitpunkten auftreten. Dazu wurden in zwei aufeinanderfolgenden Jahren vierzehn ausgewählte Messstellen in hoher zeitlicher Auflösung beprobt.

Um die Herkunft der Pflanzenschutzmittel (PSM) im Grundwasser zu identifizieren, wurde zusätzlich der Stoffeinsatz an Pflanzenschutz- und Düngemitteln in den Einzugsgebieten dieser Messstellen erhoben.

In den Grundwasserproben wurden mehr als 80 PSM-Wirkstoffe und - Abbauprodukte analysiert, wovon ein Grossteil in keiner der Messstellen nachgewiesen wurde. Mithilfe der Stoffeinsatzerhebungen konnte unterschieden werden, in welchen Einzugsgebieten diese Stoffe im Untersuchungszeitraum gar nicht appliziert wurden und in welchen dies mit einem Abbau bzw. Rückhalt im Untergrund zusammenhängen muss. 25 Substanzen wurden in mindestens einer Probe nachgewiesen, wobei das Auftreten an den jeweiligen Messstellen je nach Substanz eher vereinzelt oder regelmässig erfolgte. Eine hohe Dynamik zeigten v.a. nicht-persistente Stoffe, die nur dann ins Grundwasser gelangten, wenn sie zeitnah vor der Beprobung bzw. in Verbindung mit Grundwasserneubildungsereignissen ausgebracht wurden (z.B. Bentazon, Diazinon). Andere Stoffe dagegen traten im Grundwasser auf, obwohl sie im Zeitraum der Untersuchungen in den Einzugsgebieten der Messstellen gemäss Stofferhebung gar nicht appliziert wurden. Diese Stoffe wurden vermutlich weit früher ausgebracht und zeigen, dass einzelne einmal ins Grundwasser gelangte PSM aufgrund ihrer Langlebigkeit über Jahre im Untergrund gespeichert und nachgewiesen werden können (z.B. Atrazin, Simazin, Abbauprodukte von Chloridazon).

Mithilfe der Ergebnisse der Stoffeinsatzerhebungen und unter Berücksichtigung der Stoffeigenschaften der PSM kann die Dynamik im Auftreten zum Teil erklärt sowie exemplarisch aufgezeigt werden, aus welchen Speichern des Systems die Spurenstoffe möglicherweise an die Messstelle gelangen. So konnten weniger mobile Substanzen (z.B. Glyphosat) an Messstellen

in Lockergesteins-Grundwasserleitern nicht, wohl aber in Karst-Grundwasserleitern nachgewiesen werden. Dort spielt aufgrund der unterschiedlichen Vulnerabilität im Einzugsgebiet der Ort der Ausbringung eine entscheidende Rolle. Zudem gelangten manche Substanzen nur sporadisch nach Niederschlägen an die Messstelle, auch wenn sie nicht unmittelbar davor ausgebracht worden waren, was auf einen signifikanten Speicher in der ungesättigten Karstzone hinweist.

Stoffeinsatzerhebungen können so wichtige Informationen zu Eintragsort und -zeit einzelner Spurenstoffe in den Grundwasserleiter liefern und damit zu einem verbesserten System- und Prozessverständnis beitragen.

O 11.7: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 16:15-16:30

Spurenstoffe als Werkzeuge in der hydrogeologischen Praxis – Beispiele aus dem Wasserressourcenmanagement der Berliner Wasserbetriebe

Gunnar Lorenzen[1], Gesche Gruetzmacher[1], Kerstin Kreuzman[1], Uwe Duennbier[1]

[1] *Berliner Wasserbetriebe*
Kontakt: gunnar.lorenzen@bwb.de

Die Wasserversorgung Berlins wird mit 9 Wasserwerken gesichert, von denen sich acht innerhalb des Stadtgebietes befinden. Der größte Teil der Rohwasserressource wird mittels Uferfiltration und Grundwasseranreicherung gewonnen. Im teilgeschlossenen urbanen Wassereislauf stellen anthropogene Spurenstoffeinträge eine zunehmende Herausforderung dar, daher ist ein weites Spektrum an diesen Parametern im Monitoring der Wasserbetriebe integriert.

Die umfangreiche Datenbasis ermöglicht es, im Ressourcenmanagement auf die Spurenstoffanalytik zurückzugreifen, um hydrogeologische Prozesse zu identifizieren. Je nach Fragestellung können verschiedene Parameter Hinweise auf die räumliche Herkunft, Genese, Zusammensetzung oder Verweilzeiten einer (Grund-)Wasserprobe geben. Dies wird an verschiedenen Beispielen gezeigt:

- Mittels EDTA-Analysen wurde nachgewiesen, dass im Einzugsgebiet eines innerstädtischen Wasserwerkes Klarwasser (geklärtes Abwasser) nahezu unverdünnt in den Grundwasserleiter infiltriert. Ursache dafür ist ein Klärwerksableiter, der nicht unmittelbar in die Vorflut (Spree) einleitete, sondern in einen einseitig angeschlossenen Altarm.
- An einer Wasserfassung an der Unterhavel wurden erhöhte Chloridgehalte in tief verfilterten Brunnen festgestellt. Eine Korrelation von Chlorid- und EDTA-Gehalten zeigt, dass der überwiegende Teil der Chlorid-Fracht nicht geogenen Ursprungs ist, sondern aus einem ehemaligen Rieselfeld am gegenüberliegenden Havelufer stammt und nach Jahrzehnte langer Untergrundpassage die Wasserwerksbrunnen erreicht hat.
- Spurenstoffanalysen können ebenfalls genutzt werden, um Verweil- bzw. Fließzeiten von Uferfiltrat im Untergrund einzuschätzen. Bestimmte Stoffe wurden überwiegend in ver-

gangenen Jahrzehnten in signifikanten Mengen in den Wasserkreislauf eingetragen und dienen heute Indikatoren für „altes Uferfiltrat“. Dagegen kann die Anwesenheit weniger persistenter Stoffe dazu dienen, Uferfiltrat mit kurzen Verweilzeiten zu identifizieren.
- Eine wichtige Größe zur Bilanzierung der Wasserressourcen, ist der Anteil des Uferfiltrates. Dieser kann über Mischungsrechnungen mit einem Multi-Parameter-Ansatz mit konservativen Tracern (z.B. EDTA, Primidon, Gabapentin) abgeschätzt.

Die Beispiele zeigen, wie Spurenstoffanalysen je nach Standortbedingungen, Historie und stoffspezifischen Eigenschaften für verschiedenste Aufgabenstellungen verwendet werden können.

O 11.8: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 14.04.2016, 16:30-16:45

Nutzung von Gadolinium als transienten Tracer zur Bestimmung von Grundwasserverweilzeiten

Robert Brünjes[1], Andrea Bichler, Philipp Höhn, Thilo Hofmann

[1] *Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien*
Kontakt: robert.bruenjes@univie.ac.at

Die Nutzung von Komplexen des Seltenen Erden Elements (SEE) Gadolinium als Kontrastmittel in der Magnet-Resonanz-Tomographie führt seit über zwanzig Jahren zu erhöhten Gadoliniumkonzentrationen in abwasserbeeinflussten Oberflächengewässer. Gadoliniumkomplexe sind sehr stabil und werden vom menschlichen Körper innerhalb von wenigen Stunden nach medizinischer Applikation unmetabolisiert wieder ausgeschieden. In der konventionellen Abwasserreinigung werden diese Komplexe nicht abgebaut, gelangen so in Oberflächengewässer und suksessive in durch diese beeinflusste Grundwasserkörper. Gadolinium erfüllt daher die Voraussetzungen an einen idealen (Abwasser)tracer zur Charakterisierung von Oberflächen- und Grundwasserinteraktionen.

Das Untersuchungsgebiet liegt in einem subalpinen Einzugsgebiet mit nur geringer Bevölkerungsdichte. Der Fluss infiltriert permanent in den Grundwasserleiter, welcher durch hohe Durchlässigkeiten und Grundwasserfließgeschwindigkeiten charakterisiert werden kann. Der Uferfiltrationsstandort wurde tiefenorientiert, mit 15 cm langen Rhizon-Probennehmern entlang eines Transekts in Grundwasserströmungsrichtung instrumentiert. Diese ermöglichen eine hohe zeitliche und vertikale Auflösung der untersuchten Parameter.

Für die Studie wurden kontinuierlich 12-Stunden Mischproben über einen Zeitraum von 10 Tagen genommen und Gadolinium sowie konventionelle hydrochemische Parameter gemessen bzw. bestimmt. Die SEE wurden mittels einer Kombination aus Aufkonzentrierungsmodul “SeaFAST” (Elemental Scientific Inc., USA) und einem QQQ-ICP-MS (Agilent Technologies, Japan) gemessen. Die Bestimmungsgrenze liegt dabei unter 0,1 ng/L, welches die Bestimmung geogener Hintergrundkonzentrationen ermöglicht. Diese werden mit den beiden Nachbarele-

menten des Gadoliniums, Samarium und Terbium, gegen die Obere Kontinentale Kruste (UCC) normalisiert, ermittelt und ermöglichen so die Unterscheidung zwischen geogenem und anthropogenem Gadolinium.

Verweilzeiten des Grundwassers innerhalb des Transekts wurden mittels ^{222}Rn Messungen auf unter sieben Tagen abgeschätzt. Hydrochemische Parameter legen nahe, dass das Grundwasser in allen Tiefen ausschließlich aus infiltriertem Flusswasser besteht und eine Vermischung mit Grundwasser anderen Ursprungs vernachlässigbar ist. Die zeitliche Schwankungen der Gadoliniumkonzentrationen des Flusses und die Wiederfindung dieses Signals im Grundwasserleiter ermöglichen die Bestimmung von Grundwasserverweilzeiten anhand von anthropogenem Gadolinium.

O 11.9: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 09:45-10:00

Untersuchungen zum Umweltverhalten und der potentiellen Anreicherung von pharmazeutischen Spurenstoffen im Grundwasser unter semi-ariden Klimabedingungen

Moritz Zemann[1], Leif Wolf[1], Marius Majewsky[2], Felix Grimmeisen[1], Andreas Tiehm[3], Heinz Hötzl[1], Nico Goldscheider[1]

[1] *Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)*
[2] *Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Engler-Bunte-Institut (EBI), Lehrstuhl für Wasserchemie und Wassertechnologie*
[3] *DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Abteilung Umweltbiotechnologie, Karlsruhe*
Kontakt: moritz.zemann@kit.edu

Die Detektion erhöhter Pharmakonzentrationen im Grundwasser des Jordantals verglichen mit Konzentrationen im zufließenden Oberflächenwasser waren der Ausgangspunkt zu einer Reihe von Untersuchungen hinsichtlich der potentiellen Anreicherung von pharmazeutischen Spurenstoffen im Grundwasser semi-arider Gebiete. Geklärt werden sollte die Frage, ob sich persistente Spurenstoffe, wie z.B. Röntgenkontrastmittel, unter den gegebenen Bedingungen über längere Zeiträume hin im Grundwasser anreichern und hierbei möglicherweise sogar ökotoxikologisch relevante Konzentrationen entstehen können. Wichtige Faktoren sind hierbei die Hydromorphologie des Jordantals, mit dem Toten Meer als lokaler Senke, welches keinen oberirdischen Abfluss besitzt sowie die hohen Verdunstungsraten. Zur landwirtschaftlichen Bewässerung wird eine Mischung aus lokalem Grundwasser und importierten Klärwasser genutzt. Dies bedeutet einen kontinuierlichen externen Eintrag, der durch die zusätzliche Grundwasserentnahme zur Bewässerung zyklisch der Verdunstung ausgesetzt wird. Im Rahmen einer mehrjährigen Beprobungskampagne wurde die zeitliche und räumliche Verteilung verschiedener relevanter Substanzen erfasst. Parallel wurden Anreicherungsprozesse im Labormaßstab anhand von Säulenversuchen untersucht.

Im Laborversuch konnte hierbei für zwei Substanzen (Carbamazepin und Bezafibrat) eine evaporative Anreicherung unter biologisch inhibierten Bedingungen nachgewiesen werden, welche sich in der Größenordnung der verdunsteten Wassermenge bewegt. Eine Anreicherung von Carbamazepin unter naturnahen Bedingungen zeigt dabei die Problematik potentiell steigender Umweltkonzentrationen auf.

Im Rahmen der Beprobungskampagne konnte dieser Effekt für das Untersuchungsgebiet leider nicht statistisch abgesichert verifiziert werden (z.B. durch stetig ansteigende Grundwasserkonzentrationen). Dennoch konnte anhand der räumlichen und zeitlichen Spurenstoffverteilung und Konzentrationsentwicklung wichtige Informationen über die lokale Kontaminationsdynamik im Grundwasser abgeleitet werden. Die großflächige Verbreitung des Röntgenkontrastmittels Amidotrizoesäure (Standardsubstanz bis zur Vermeidungsempfehlung seit 2000) bei fast völliger Abwesenheit im Klär- und Oberflächenwasser, sowie über die Zeit steigende Detektionsraten von Iopamidol (ein möglicher Ersatzstoff) geben Hinweise auf Änderungen in der Verschreibungspraxis. Daneben konnte die Nitratkontamination im Grundwasser eines urbanen Einzugsgebiets durch Korrelation von Pharmaka- und Nitratkonzentration mit großer Wahrscheinlichkeit auf Leckagen im Kanalsystem und in Klärgruben zurückgeführt werden. Die steigende Anzahl der gefunden Substanzen korrelierte hierbei mit zunehmenden Konzentrationen anderen typischer Anzeiger von Abwassereinfluss wie Nitrat und E. coli. Die Studien zeigen, dass insbesondere persistente Spurenstoffe als nützliche Tracer für anthropogene Kontamination eingestuft werden können.

Literatur

Zemann, M., Wolf, L., Grimmeisen, F., Tiehm, A., Klinger, J., Hötzl, H., Goldscheider, N. (2015): "Tracking changing X-ray contrast media application to an urban-influenced karst aquifer in the Wadi Shueib, Jordan." Environmental Pollution 198: 133-143.

Zemann, M., Wolf, L., Pöschko, A., Schmidt, N., Sawarieh, A., Seder, N., Tiehm, A., Hötzl, H., Goldscheider, N. (2014): "Sources and processes affecting the spatio-temporal distribution of pharmaceuticals and X-ray contrast media in the water resources of the Lower Jordan Valley, Jordan." Science of the Total Environment 488–489(0): 100-114.

O 11.10: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 15.04.2016, 10:00-10:15

Modellierung der Ausdehnung der oxischen Zone bei der Uferfiltration unter Berücksichtigung des Durchbruchverhaltens des Arzneimittelrückstandes Phenazon

Janek Greskowiak[1], Aline Henzler[1], Gudrun Massmann[1]

[1] *IBU, Universität Oldenburg*
Kontakt: janek.greskowiak@uni-oldenburg.de

Bei der Uferfiltration kommt der aeroben Zone eine besondere Bedeutung zu, denn unter oxischen Redoxbedingungen wird eine Vielzahl gelöster organischer Verbindungen bevorzugt mikrobiell abgebaut. Die räumliche Ausdehnung der oxischen Zone hängt von den hydro(geo)logischen Randbedingungen ab (hydraulischer Gradient, Temperatur, gelöster Sauerstoff und Elektrondonor Verfügbarkeit) und ist typischerweise an Uferfiltrationsstandorten hoch dynamisch. Dies macht eine detaillierte Charakterisierung dieser Zone und somit auch des mikrobiellen Abbaus etwaiger aerob abbaubarer Kontaminanten während der Untergrundpassage schwierig. In der vorliegenden Studie wurde mit Hilfe reaktiver Stofftransportmodellierung versucht, die Ausdehnung und zeitliche Dynamik der oxischen Zone am Uferfiltrationsstandort Tegeler See, Berlin, zu erfassen. Zur Abbildung des konservativen Stofftransports und des Wärmetransports wurde ein Grundwasserströmungs- und Transportmodel für diesen Standort aufgesetzt. Die Modellkalibrierung fand anhand der beobachteten δ18O Signaturen von See und Grundwasser sowie den Wassertemperaturen statt. Das darauf aufsetzende reaktive Modell bildete vorerst nur den temperaturabhängigen mikrobiellen Abbau von sedimentärem organischen Kohlenstoff und der damit einhergehenden Reduktion von gelöstem Sauerstoff ab. Es wurden die Modellparameter (Abbauratenkonstante und Monodparameter) optimiert, um eine gute Modellbeschreibung der gemessenen Sauerstoffkonzentrationen an den Grundwassermessstellen zu erreichen. In einem zweiten Schritt wurde das Durchbruchverhalten des aus dem See eingetragenen Azneimittelrückstandes Phenazon an den Grundwassermesstellen simuliert. Da Phenazon ausschließlich unter oxischen Bedingungen abgebaut wird, wurde dies mit einem Monod-kinetischen Ansatz im reaktiven Modell berücksichtigt. Eine relativ gute Anpassung der simulierten an die beobachten Phenazonkonzentrationen wurde durch eine Kalibrierung der Phenazonabbauparameter (Abbauratenkonstante und Monodparameter) erreicht. Es zeigte sich jedoch, dass die Phenazon-Anpassung noch weiter optimiert werden konnte, wenn zusätzlich die Sauerstoffabbauparameter, ohne wesentliche Einbußen der Sauerstoffanpassung, justiert wurden. Dies deutet darauf hin, dass durch die zusätzliche Berücksichtigung von Phenazon als Indikatorsubstanz für aerobe Redoxbedingungen die Ausdehnung und Dynamik der oxischen Zone möglicherweise besser beschrieben wird als nur durch die punktuell gemessenen Sauerstoffkonzentrationen. Diese Hypothese muss jedoch mit weiteren redox-sensitiven Substanzen und ihrem Durchbruchverhalten an Uferfiltrationsstandorten geprüft werden.

Poster

P 11.1

Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Verwendung in der Wasserwirtschaft

Thomas Walter[1], Arnold Quadflieg[2], Bernhard Wagner[3]

[1] *Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Saarbrücken*
[2] *Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden*
[3] *Landesamt für Umweltschutz, Hof*
Kontakt: t.walter@umwelt.saarland.de

Im Grundwasser stellen sich unter natürlichen Bedingungen charakteristische regionale Bandbreiten der chemischen Zusammensetzung ein. Die Obergrenze dieser Konzentrationen haben Kunkel et al. (2004) als Hintergrundwert definiert, wobei ubiquitäre anthropogene Einflüsse in einem dicht besiedelten Land wie der Bundesrepublik Deutschland davon nicht mehr abgetrennt werden können.

Um bei Schwellenwertüberschreitungen (Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA, LAWA 2004) Ursachen beurteilen zu können, ist die Kenntnis der jeweiligen natürlichen Hintergrundwerte erforderlich. Seit dem Jahr 2005 befassen sich die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) daher mit deren Ermittlung. Dazu wurden die ca. 1.100 hydrogeologischen Einheiten der Hydrogeologischen Übersichtskarte von Deutschland (HÜK200, BGR 2015) zu 186 Hydrogeochemischen Einheiten (HGC) aggregiert. Mit einer weitgehend automatisierten Excel-Anwendung (Walter, 2008) wurden die Anomalien mit Wahrscheinlichkeitsnetzen nach Lepeltier (1969) abgetrennt, gleichzeitig die Verteilungsparameter der Hintergrundpopulation ermittelt und deren 90. Perzentils berechnet. Vergleiche der Ergebnisse mit in einzelnen Bundesländern auf anderer methodischer Grundlage ermittelten Werten zeigen eine gute Übereinstimmung (Bitzer et al., 2012; PLUM et al. 2009). Seit dem Jahr 2010 stehen die Ergebnisse über einen im Internet frei zugänglichen Web-Map-Dienst (WMS) und einen Fachdatenviewer (GeoViewer der BGR: http://geoviewer.bgr.de) bereit (BGR 2014, Wagner et al. 2014).

Hauptnwendungen in der Wasserwirtschaft sind die Ableitung und Verwendung von Grundwasserschwellenwerten für die Zustandsbewertung der Grundwasserkörper nach EG-Wasserrahmen¬richtlinie (RL 2000/60/EG 2000), aber auch der Einsatz im Boden- und Grundwasserschutz bei der Beurteilung möglicher Grundwasserverunreinigungen. Nach der novellierten EG-Grundwasserrichtlinie (RL 2014/80/EU) müssen die Mitgliedstaaten in den Bewirtschaftungsplänen natürliche Stoffe Hintergrundwerte in Grundwasserkörpern übermitteln. Die nationalen Basiswerte für Deutschland sind als flächengewichtete Mittel aus den HGW berechnet und auch bei der Festlegung der GFS-Werte verwendet worden (GFS-Bericht 2015, LAWA 2015).

Bei lokalen Betrachtungen (Schadensfälle, Altlasten etc.) können die HGW als Anhaltspunkt für eine erste Einschätzung herangezogen werden, ob erhöhte Konzentrationen im Grundwasser geogen sein können. Hier können Messstellen immer einer HGC-Einheit und damit den jeweiligen Hintergrundwerten zugeordnet werden. Auf Grundwasserkörperebene ist dies jedoch wegen länderspezifisch unterschiedlich ausgewiesenen Grundwasserkörpern nicht immer möglich. Im wasserrechtlichen Vollzug ergibt sich aber damit bei der Prüfung von Grundwasserverunreinigungen ein weiterer Prüfschritt, bevor kontenintensive Untersuchungen zur Klärung der Ursache der festgestellten Schwellenwertüberschreitungen durchgeführt oder gar Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Literatur

Bitzer, F., Reinheimer, L., Plaul, W. (2012): Beschaffenheit natürlicher, ubiquitär überprägter Grundwässer.- Landesamt für Geologie und Bergbau und Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Internet: http://www.lgb-rlp.de/hintergrundwerte_grundwasser.html.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohrstoffe (2014): WMS Information der BGR Hannover: Hydrogeologische Karte von Deutschland 1:200.000 (HÜK200). Thema: Hydrogeochemie, Hintergrundwerte im Grundwasser.- Internet: http://www.bgr.de/Service/huek200/hgw.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohrstoffe (2015): Hydrogeologische Karte von Deutschland 1:200.000 (HÜK200).- Internet http://www.bgr.de/Service/grundwasser/huek200.

Kunkel, R., Wendland, F., Voigt, H.-J., Hannappel, S. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland.- Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt 47, 204 S., Jülich.

LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser.- Länderar-beitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.), 33 S., Düsseldorf.

LAWA (2015): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Aktualisierte und überarbeitete Fassung; Stand: 28. Mai 2015.

Lepeltier, C. (1969): A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical represen-tation. - Econ. Geol., 64: 538-550, Lancaster, PA.

Plum, H. & Dietze, G. & Armbruster, V., Wirsing, G. (2009): Natürliche geogene Grundwasser-beschaffenheit in den hydrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg.- LGRB-Informationen, 23, 192 S., Freiburg i.Br.

RL 2000/60/EG: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23.Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie).- Amtsblatt der Europäischen Union L 327/1, 22.12.2000

RL 2014/80/EU: Richtlinie 2014/80/EU der Kommission vom 20. Juni 2014 zur Änderung von Anhang II der Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung.- Amtsblatt der Europäischen Union L 182/52, 21.6.2014, 52-55.

Wagner, B., Walter, T., Himmelsbach, T., Clos, P., Beer, A., Budziak, D., Dreher, T., Fritsche, H.-G., Hübschmann, M., Marzcinek, S., Peters, A., Poeser, H., Schuster, H., Steinel, A., Wagner, F., Wirsing G. (2011): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Deutschlands als Web Map Service.- Grundwasser 16/3: 155-162.

Walter, T. (2008): Determining natural background values with probability plots.- EU Groundwater Policy Developments Conference, UNESCO, Paris, France, 13–15 Nov 2008.

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 im Grundwasser“.- Internet: http://www.bgr.bund.de/hgw.

P 11.2

PFASs in groundwater: the trouble contaminants of the future?

Stefan Banzhaf[1], Kai Bester[2], Jeffrey Lewis[3], Tobias Licha[4], Charlotte Sparrenbom[5], Roland Barthel[1]

[1] *Department of Earth Sciences, University of Gothenburg*
[2] *Department of Environmental Science, Aarhus University*
[3] *Tyréns AB*
[4] *Department of Applied Geology, Geoscience Centre of the University of Göttingen*
[5] *Department of Geology, Lund University*
Kontakt: stefan.banzhaf@gu.se

Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) are a group of anthropogenic environmental pollutants that are of almost ubiquitous occurrence and are found worldwide in the aquatic environment, wildlife and humans. They are among the ever growing group of emerging organic contaminants and have recently attracted huge attention (e.g. Simon 2014). The most prominent PFASs compounds discussed in research and practice are PFOS (perfluorooctane sulfonate) and PFOA (perfluorooctanoate), as they are most commonly known to be found in the aquatic environment but also in the blood of humans and animals worldwide (e.g. Fujii et al. 2007 and Postigo & Barceló 2015).

Sources for PFASs in groundwater are mainly diffuse sources in form of wastewater treatment plants and point sources like landfills and firefighting training areas (e.g. Eschauzier et al. 2013 and Filipovic et al. 2015). So far, groundwater samples worldwide show occurrence of PFASs, and locally PFOS has been found in very high concentrations, e.g. of up to 1,200,000 ng/l at a firefighting training site (Yao et al. 2015).

PFOS has been banned in the EU since 2008 and is listed in the Stockholm Convention. However, as PFOS and other PFASs compounds are very persistent they will remain a problem for a long time. Moreover, e.g. PFOS is simply replaced by other PFASs compounds, which are often not properly studied in terms of their potential harmful behavior.

The contamination of groundwater with PFASs already has severe implications for drinking water supply today as, e.g. in 2011 and 2013 two waterworks in Sweden had to cease operation after PFASs concentrations of up to 10,000 ng/l were detected in the produced drinking water (Jakobsson et al. 2014).

As groundwater is used worldwide to provide drinking water for millions of people it is of utmost importance to maintain groundwater free from PFASs.

References

Eschauzier C., Raat, K.J., Stuyfzand, P.J., De Voogt, P. (2013): Perfluorinated alkylated acids in groundwater and drinking water: Identification, origin and mobility Science of The Total Environment 458–460:477-485.

Filipovic, M., Woldegiorgis, A., Norström, K., Bibi, M., Lindberg, M., Österås, A.H. (2015): Historical usage of aqueous film forming foam: A case study of the widespread distribution of perfluoroalkyl acids from a military airport to groundwater, lakes, soils and fish Chemosphere 129:39-45.

Fujii, S., Polprasert, C., Tanaka, S., Lien, N.P.H., Qiu, Y. (2007): New POPs in the water environment: Distribution, bioaccumulation and treatment of perfluorinated compounds - A review paper Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA 56:313-326.

Jakobsson, K., Kronholm Diab, K., Lindh, C., Persson, B., Jönsson, B. (2014): Exponering för perfluorerade ämnen (PFAS) i dricksvatten i Ronneby kommun.

Postigo, C., Barceló, D. (2015): Synthetic organic compounds and their transformation products in groundwater: Occurrence, fate and mitigation Science of The Total Environment 503–504:32-47.

Simon, J.A. (2014): Editor's Perspective: Perfluorinated Chemicals Continue Gaining Momentum as an Emerging Contaminant Remediation Journal 25:1-9.

Yao, Y., Volchek, K., Brown, C.E. (2015): Characterization of environmental samples from an aqueous film forming foam (AFFF)-impacted firefighting training area in Canada. In: Proceedings of the 38th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, 2015. pp 265-282.

P 11.3

Untersuchungen zum Einfluss einer zusätzlichen Kompostschicht auf die Attenuationskapazität von anthropogenen organischen Spurenstoffen bei der künstlichen Grundwasseranreicherung

Mario Schaffer[1], Kerrin Franziska Kröger[1], Karsten Nödler[2], Carlos Ayora[3], Jesús Carrera[3], Marta Hernández[4], Tobias Licha[1]

[1] *Angewandte Geologie, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen*
[2] *Analytik und Wasserbeschaffenheit, TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe*
[3] *GHS Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA-CSIC), Barcelona*
[4] *CETaqua, Water Technology Center, Barcelona*
Kontakt: Mario.Schaffer@geo.uni-goettingen.de

Die künstliche Anreicherung von Grundwasser (Soil-Aquifer-Treatment, SAT) stellt ein zunehmend genutztes Nachbehandlungsverfahren dar, um die Qualität von bereits vorbehandeltem Abwasser und somit des in die Umwelt eingeleiteten Wassers weiter zu verbessern. In diesen Systemen stellen Sorptions- und Abbauprozesse die wichtigsten Attenuationsmechanismen dar (Katayama et al. 2010; Maeng et al. 2011; Schaffer et al. 2012). Ziel der hier vorgestellten Untersuchung war es den Einfluss einer organikreichen Feststoffmatrix, aus welcher kontinuierlich DOC ausgetragen wird, auf die Attenuation ausgewählter organischer Spurenstoffe unter realistischen SAT-Bedingungen zu bestimmen.

Hierzu wurden auf dem Gelände der Kläranlage El Prat de Llobregat (Barcelona) Säulenversuche mit dem Ablaufwasser der biologischen Reinigungsstufe durchgeführt. Der Versuchsaufbau

erlaubt die Untersuchung des Attenuationsverhaltens der organischen Spurenstoffe in Abhängigkeit des Redoxverhältnisses, des Anteils organischem Kohlenstoffs im Sediment sowie der Freisetzung an abbaubaren gelösten organischem Kohlenstoffs (BDOC). Die Referenzsäulensysteme bestehen jeweils aus einer großen, mit organikarmen Sand befüllten Aquifersäule. Den Aquifersäulen der Vergleichssysteme wurden jeweils zwei kleine, mit Kompost gefüllte Säulen vorgeschaltet, um eine zusätzliche (reaktive) organikreiche Infiltrationsschicht oberhalb des Zielaquifers zu simulieren. Da der Stofftransport zudem in großem Maße von den Moleküleigenschaften der Zielsubstanzen abhängt, wurde ein breites Spektrum an organischen Spurenstoffen untersucht (28 Verbindungen: 8 neutrale Moleküle, 7 Kationen, 12 Anionen, 1 Zwitterion). Die Sorptions- und Abbauparameter der organischen Spurenstoffe wurden invers aus den ermittelten Durchbruchskurven mit Hilfe von MODFLOW-MT3D bestimmt.

Durch die zusätzliche Kompostschicht wurde das Redoxpotential im Vergleich zum Referenzsystem deutlich verringert (eisenreduzierendes statt denitrifizierendes Milieu). Des Weiteren führte die zusätzliche Schicht zu deutlich höheren DOC-Konzentrationen in den Aquifersäulen und somit auch zu höheren BDOC-Werten. Für die unter diesen Bedingungen konservativen Stoffe Phenazon, Primidon, Acesulfam sowie für 4-Acetaminoantipyrin und Tolyltriazol wurden keine Unterschiede zwischen den beiden Systemen beobachtet. Im Gegensatz dazu konnten generell positive Effekte der zusätzlichen Kompostschicht auf die Attenuation der meisten organischen Säuren (z. B. Sulfamethoxazol) sowie der beiden untersuchen Betablocker festgestellt werden. Für die verbleibenden organischen Basen (Kationen) konnten keine Durchbruchskurven bestimmt werden.

Folglich stellt die Aufbringung einer zusätzlichen Kompostschicht in SAT-Systemen einen interessanten Ansatz dar, um viele umwelt- bzw. trinkwasserrelevante Stoffe zu entfernen oder zumindest deren Verweilzeiten im Untergrund zu verlängern, sofern die resultierende Erhöhung des DOC-Gehaltes im Zielaquifer toleriert werden kann.

Literatur

Katayama, A., Bhula, R., Burns, G.R., Carazo, E., Felsot, A., Hamilton, D., Harris, C., Kim, Y.-H., Kleter, G., Koerdel, W., Linders, J., Peijnenburg, J.G.M.W., Sabljic, A., Stephenson, R.G., Racke, D.K., Rubin, B., Tanaka, K., Unsworth, J., Wauchope, R.D. (2010): Bioavailability of xenobiotics in the soil environment. - Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 203: 1–86.

Maeng, S.K., Sharma, S.K., Abel, C.D., Magic-Knezev, A., Amy, G.L. (2011): Role of biodegradation in the removal of pharmaceutically active compounds with different bulk organic matter characteristics through managed aquifer recharge: batch and column studies. - Water Research, 45(16): 4722–4736.

Schaffer, M., Boxberger, N., Börnick, H., Licha, T., Worch, E. (2012): Sorption influenced transport of ionizable pharmaceuticals onto a natural sandy aquifer sediment at different pH. - Chemosphere, 87(5): 513–520.

P 11.4

Hintergrundwerte im Grundwasser – Beschreibung der nationalen Methode Deutschlands

Thomas Walter[1]

[1] *Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz*
Kontakt: t.walter@umwelt.saarland.de

Nach den Vorgaben der Grundwasserrichtlinie (RL 2006/118/EG) haben die Mitgliedstaaten in den Bewirtschaftungsplänen für natürliche Stoffe Hintergrundwerte in Grundwasserkörpern zu übermitteln und die Methode zu beschreiben, nach der jeder Mitgliedstaat die Hintergrundwerte bestimmt hat.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden die Daten von über 52.700 Messpunkten durch die Mitarbeiter der geologischen Landesdienste für die Erstauswertung auf ihre Verwendbarkeit geprüft und den 186 Hydrogeochemischen Einheiten der HÜK200 (Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland 1:200.000) zugeordnet. 2010 konnte so für 22 Parameter eine weitestgehend flächendeckende Auswertung vorgelegt werden, die 2014 auf der inzwischen deutlich verbesserten Datengrundlage um weitere 18 Parameter ergänzt wurde.

Die Auswertung beruht auf der Verwendung von Wahrscheinlichkeitsnetzen, die in der Explorationsgeochemie schon seit Jahrzehnten üblich ist (Lepeltier 1969, Sinclair 1976). Dabei handelt es sich um ein einfaches grafisches Verfahren, das auf der Eintragung der nach Größe geordneten Werte in ein Koordinatennetz beruht, das auf der Abszisse linear, auf der Ordinate nach der kumulierten Normalverteilung berechnet ist. Normalverteilungen werden dadurch als Geraden dargestellt; lognormale Verteilungen ergeben ebenfalls eine Gerade, wenn die Messwertachse logarithmisch skaliert ist. Mischungen unterschiedlicher Populationen werden als Teilgeraden unterschiedlicher Länge und Steigung dargestellt und können so leicht unterschieden werden. Daher lassen sich Anomalien leicht identifizieren.

Nach der Eliminierung der Anomalien werden die Steigungsparameter der verbleibenden Hintergrundpopulation über einen Regressionsansatz (Mittelwert = Durchgang der Ausgleichsgeraden durch die 50%-Linie, Standardabweichung = Steigung der Geraden) und daraus wiederum die Perzentile der zugrundeliegenden Verteilung berechnet. Als Hintergrundwert wurde in Anlehnung an Kunkel et al. (2004) das 90. Perzentil gewählt.

Weil die Geradenparameter direkt über eine Regression berechnet werden, muss die Gerade nicht über die gesamte Breite der Verteilung gegeben sein. Daher kann das Verfahren über einen Extrapolationsansatz auch problemlos mit größeren Anteilen an Werten umgehen, die kleiner sind als die Bestimmungsgrenze. Über eine Reihe von statistischen Tests wird die Repräsentativität der Auswertung und ihrer Ergebnisse abgesichert. Das Verfahren wurde zur Beschleunigung der Abläufe und Vereinheitlichung des Ausgabeformats weitestgehend

automatisiert und den Bearbeitern in den verschiedenen Diensten als Excel-Anwendung zur Verfügung gestellt (Walter, 2008).

Die Daten und Ergebnisse der Auswertung sind auf der Internetseite der BGR entweder über den browserbasierten GeoViewer (BGR 2015) oder als Web Map Service (WMS) öffentlich zugänglich (BGR, 2014). Die Informationen können in Form von Kartendarstellungen und Info-Abfragen abgerufen werden.

Literatur

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohrstoffe (2014): WMS Information der BGR Hannover: Hydrogeologische Karte von Deutschland 1:200.000 (HÜK200). Thema: Hydrogeochemie, Hintergrundwerte im Grundwasser. Internet: http://www.bgr.de/Service/grundwasser > Hintergrundwerte im Grundwasser.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohrstoffe (2015): Hydrogeologische Karte von Deutschland 1:200.000 (HÜK200). Internet: http://www.bgr.de/Service/grundwasser > Hydrogeologische Karte von Deutschland 1:200.000 (HÜK200), Oberer Grundwasserleiter (OGWL).

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 53804-1; Statistische Auswertungen, Teil 1: Kontinuierliche Merkmale. 19 S, Beuth-Verlag, Berlin (2002).

Kunkel, R., Wendland, F., Voigt, H.-J., Hannappel, S. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt 47, 204 S., Jülich.

Lepeltier, C. (1969): A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. – Econ. Geol., 64: 538-550, Lancaster, PA.

RL 2006/118/EG: Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. Amtsblatt der Europäischen Union L 372/19, 27.12.2006, 19-31 (2006).

Sinclair, A.J. (1976): Applications of probability graphs in mineral exploration. Assoc. Explor. Geo-chem. Spec., 4/9, 95 S.

Walter, T. (2008): Determining natural background values with probability plots. EU Groundwater Policy Developments Conference, UNESCO, Paris, France, 13–15 Nov 2008.

P 11.5

Eine optimierte Extraktionsmethode für Fluoranthen mittels ASE aus Mikroplastik

Thomas Schiedek[1], Jella Kandziora[2], Kaori Sakaguchi-Söder[2]

[1] *Geowissenschaften, TU Darmstadt*

[2] *IWAR, TU Darmstadt*

Kontakt: schiedek@geo.tu-darmstadt.de

Mikroplastik (Plastikstücke, max. 5 mm Größe) sind eine relativ neue Art von anthropogenen Stoffen, die sich in der aquatischen Umwelt anreichern. Generell unterscheidet man primäre (z.B. in Zahnpasta oder Duschgels, werden nicht von Kläranlagen herausgefiltert) und sekundäre Teilchen bzw. Pellets, die durch mechanische-chemische Vorgänge zerkleinert werden, wie z.B. bei Waschvorgängen von synthetischen Kleidungsstücken. Mikroplastik ist einerseits ein sehr gutes Adsorbens und speichert organische Schadstoffe, kann andererseits Schadstoffe

(z.B. Plastikweichmacher) abgeben (z.B. Mato et al., 2001). Die Persistenz der Plastikstücke ist sehr hoch (mehrere 100er a) und eine Anreicherung in der Nahrungskette (Bioakkumulation, auch im Menschen) ist sehr wahrscheinlich. In der aquatischen Umwelt verteilt sich Mikroplastik durch natürliche Transportprozesse sehr schnell. Da die Analytik (z.B. Extraktion) noch nicht harmonisiert ist (viele verschiedene Plastikarten usw.), ist ein Vergleich von Umweltkonzentrationen problematisch und dadurch politische Gegenmaßnahmen stark erschwert (z.B. Hidalgo-Ruz et al., 2012). Zudem existieren noch Wissenslücken über die Sorptionskapazität von verschiedenen Mikroplastikarten. Ziel dieser Arbeit war die Optimierung einer Extraktionsmethode mittels ASE (accelerated solvent extraction) für 3 verschiedene, definierte Mikroplastikarten mit normierter Größe (mehrere mm-Durchmesser als Plastikpellet): Polyethylen (PE), Polystyrol (PS) und Polypropylen (PP). Alle 3 Mikroplastikarten wurden mit Fluoranthen (4 Ring-PAK, log Kow 5,33, Löslichkeit 0,26 mg/l) als Modellschadstoff definiert beladen. Mit Batch-Vorversuchen (Wasser, Plastikpellet) wurde festgestellt, dass nach 15 Tagen genügend Fth zum Nachweis mit GC-MS auf den Mikroplastik-Pellets sorbiert war. Die Extraktion wurde mit einer Dionex 300 ASE (anstatt z.B. Soxhlet) mit einem einheitlichen Druck von jeweils 100 bar (nicht veränderbar bei Dionex 300) sowie Temperatur-Variationen zwischen 50-100°C, je nach angegebener Plastikbeständigkeit, und mit verschiedenen Lösemitteln (Methanol, Isopropanol) und Extraktionszyklen optimiert. Die Variationsmöglichkeiten der Lösemittel waren z.T. beschränkt, da z.B. PS nicht mit Methanol extrahiert werden kann, ohne dass es sich auflöst. Es zeigte sich, dass je höher die Extraktionstemperatur gewählt wurde, umso mehr Fth wurde extrahiert, bei sonst gleichen Bedingungen. Als Lösemittel erbrachte Isopropanol deutlich höhere Extraktionsausbeuten als Methanol. Die optimale Methode zur Extraktion von PE bei 100°C mit Isopropanol benötigte 2 Zyklen (je 5 Min. statisch) mit einer Extraktionseffizienz zwischen ca. 70 -80%, während zur Extraktion von PP nur 1 Zyklus (5 Min. statisch) mit einer Extraktionseffizienz zwischen ca. 110 -115% benötigt wurde. Zur Extraktion von PS sollten maximal 70°C angewendet werden (ab hier beginnt Zersetzung), mit 2 Zyklen mit Isopropanol, um eine Extraktionseffizienz zwischen ca. 70 -75% zu erreichen.

Literatur

Mato, Y; Tomohiko, I; Hideshige T.; Haruyki K.; Hiyoko, O.; Tsukuchika K. (2001): Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. - Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 318-324

Hidalgo-Ruz, V.; Gutow, L.; Thompson, R.C.; Thiel, M. (2012): Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. - Environ. Sci. Technol., 46, 3060-3075

P 11.6

Sorption and degradation rates of Emerging Organic Contaminants in well controlled laboratory experiment

Aleksandra Kiecak[1], Christine Stumpp[1]

[1] *Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München*
Kontakt: aleksandra.kiecak@helmholtz-muenchen.de

Pharmaceuticals belong to Emerging Organic Contaminants (EOCs) and their presence in the environment has been recognized as a potential environmental threat. Over the last dozen of years, pharmaceutical compounds raised a high concern from the population and the water managers, as it was found in many water bodies all around Europe. Though they represent a great public health concern, their transfer and fate are not yet well known in water bodies. Improving the understanding of observed EOCs-concentration patterns in heterogeneous and dynamic field studies requires the knowledge of crucial processes and parameters that are, however, difficult to determine at complex field sites. Therefore, laboratory experiments can help to identify sorption and biodegradation parameters. The task of the presented work was to determine the sorption parameters and degradation rates of selected EOCs in controlled laboratory experiments. In particular the impact of flow velocities on sorption and degradation rates of EOCs was studied. For the experiments, different sediment types from selected field sites were filled into columns. Conservative tracers and EOCs were injected into the columns as a pulse and concentration curves were measured at the columns' outlet. From the tracer breakthrough curves information about sorption and degradation rates for the different sediments and EOCs was determined and the impact of variable flow conditions assessed. The results will help to better understand the fate of EOCs under hydrodynamic conditions in heterogeneous sediments.

P 11.7

Hydrogeochemische Studien im Harz: Innerstesprung

Elke Bozau[1], Tobias Licha[2], Hans-Joachim Stärk[3], Bettina Wiegand[2]

[1] *TU Clausthal*
[2] *Universität Göttingen*
[3] *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig*
Kontakt: elke.bozau@tu-clausthal.de

Die Innerste entspringt südöstlich von Clausthal-Zellerfeld auf 605 m ü. NN, fließt durch den Westharz, passiert dabei die in den 60er Jahren erbaute Innerste-Talsperre und mündet nach 99,7 km auf einer Höhe von 58 m ü. NN in die Leine. Die Wassermenge der Innerstequelle ändert sich entsprechend der Niederschlagshöhe. Ihre chemische Zusammensetzung wird durch

die atmosphärischen Einträge, die biogeochemischen Prozesse im Boden und die Wechselwirkung von Gestein und Wasser bestimmt. Im Messzeitraum von 2010 bis 2014 lag der pH-Wert des Innerstesprungs zwischen 6 und 7. Spezifische elektrische Leitfähigkeiten von 63 bis 97 µS/cm wurden gemessen. Die meisten Ionen des Niederschlagswassers werden bei der Passage durch den Boden erhöht. Aber Ammonium, ein Hauptkation des Niederschlagswassers (Bozau et al., 2015), ist im Quellwasser nicht nachweisbar. Die Seltenen Erdelemente (SEE) als typische Indikatoren für Gesteins-Wasser-Interaktionen (Bozau et al., 2013) werden entsprechend der Verweildauer des Wassers im Untergrund (z.B. im extrem trockenen Herbst 2010) aufkonzentriert oder bei hoher Niederschlagsmenge, Schneeschmelze bzw. hoher Durchflussrate verdünnt. Im Verlauf der Innerste kommt es stromabwärts durch biologische Aktivitäten und weitere Wechselwirkungen von Wasser und Gestein zu einer kontinuierlichen Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Wassers. Die elektrische Leitfähigkeit in der Innerste-Talsperre liegt bei 170 µS/cm und im Fluss Innerste in Hildesheim bei 830 µS/cm.

Literatur

Bozau, E., Azoños Figueroa, A., Licha, T., Wiegand, B. (2015): Atmosphärischer Eintrag und chemischer Stoffbestand des Niederschlags, Messstation Clausthal-Zellerfeld (Harz), Oktober 2013 – November 2014. Grundwasser (online).

Bozau, E., Stärk, H.-J., Strauch, G. (2013): Hydrogeochemical characteristics of spring water in the Harz Mountains, Germany. Chemie der Erde 73, 283-292.

P 11.8

Bestimmung der Grundwasser-Verweilzeiten mit Hilfe eines nicht-reaktiven Dispersions-Modells unter Verwendung von anthropogenem Gadolinium als Tracer

Philipp Höhn[1], Robert Brünjes[1], Andrea Bichler[1], Thilo Hofmann[1]

[1] *Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien*
Kontakt: philipp.hoehn@univie.ac.at

Verweilzeit und Dispersion sind wichtige Parameter für die Beschreibung der Grundwasserströmung und des Stofftransportes sowie zur Modellierung. Aufgrund des konservativen Verhaltens und anwendungsspezifischen Vorkommens anthropogenen Gadoliniums (Gd_{anth}) im untersuchten Fluss konnte dieses als Umwelttracer genutzt werden, um Informationen der Interaktion zwischen Oberflächen- und Grundwasser abzuleiten.

12-stündliche Mischwasserproben eines permanent infiltrierenden Flusses in einem subalpinen Einzugsgebiet zeigten nach Einleitung geklärten Abwassers einen transienten Wochengang der Gd_{anth}-Konzentration. Dieser Wochengang konnte entlang eines Transsekts im ufernahen Grundwasser unter Einsatz tiefenorientierter Rhizon-Probenehmer mit geringeren Maximalkonzentrationen wiedergefunden werden. Weiterhin wurden die Proben auf Chlorid als natürlicher Tracer und auf Acesulfam sowie Gabapentin als anthropogene Abwassermarker analysiert. Der Wochengang von Gd_{anth} wurde genutzt, um die Parameter eines nicht-reaktiven

Input-Output-Dispersions-Modells invers zu bestimmen. Die Verweilzeitenverteilung ermöglicht neben der Bestimmung der mittleren Verweilzeit auch die Abschätzung der dominierenden Verweilzeit und Dispersion.

Das Mischungsverhältnis von Flusswasserinfiltraten unterschiedlicher Verweilzeiten wird durch den jeweils resultierenden bestangepassten Dispersions-Parameter ausgedrückt. Dieser bildet die vergleichsweise hohe Dispersivität ab, welche durch die Heterogenität der glazialen Sedimente bedingt ist. Die Untersuchungsergebnisse lassen auf einen raschen Transport im Grundwasserleiter von wenigen Tagen bis zum jeweiligen Messpunkt schließen.

Die Anpassung der weiteren Tracer Chlorid, Acesulfam und Gabapentin zeigt mit den Gd_{anth}-optimierten Parametern für Acesulfam und Gabapentin eine zunehmend schlechtere Güte der Modellanpassung mit zunehmender Tiefe und Abstand zum Fluss. Dies ist auf den Abbau der beiden Substanzen zurückzuführen. Die Chlorid-Konzentration des Flusses ist zeitlich invariant, so dass keine Modellparamater abgeleitet werden konnten.

Literatur

Amin, I.E., Campana, M.E. (1996): A general lumped parameter model for the interpretation of tracer data and transit time calculation in hydrologic systems. – J. Hydrol., 179: 1-21.

Turnadge, C., Smerdon, B. (2014): A review of methods for modelling environmental tracers in groundwater: Advantages of tracer concentration simulation. – J. Hydrol., 519: 3674-3689.

Zuber, A., Maloszewski. P. (2001): Lumped parameter models. – In: Mook, W.G. & Yurtsever, Y. (eds.): Environmental isotopes in the hydrological cycles: Principles and applications, Vol. 6: 503-521; Paris.

12 Thermische Grundwassernutzung

Vorträge

O 12.1: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 10:15-10:30

Processes in the vicinity of an injection well of a geothermal facility in the Malm Aquifer (Bavarian Molasse Basin)

Mark Lafogler[1], Frank Wenderoth[2], Jörn Bartels[2], Gabriella Somogyi[1], Thomas Hinkofer[1], Katarina Hess[1], Thomas Baumann[1]

[1] *Institut für Wasserchemie, TU München*
[2] *Aquasoil GmbH*
Kontakt: tbaumann@tum.de

With high temperatures, high transmissivities and low salinities the Malm Aquifer in the Bavarian Molasse Basin offers ideal conditions for the exploration of geothermal energy. In 2011 the Pullach geothermal facility was extended with a third geothermal well to account for the increasing heat demand. In the course of this extension an injection well was converted to a production well. Hence, for the first time in the history of geothermal exploration of the Malm Aquifer, data became accessible from the surrounding of an injection well which has been in operation for more than 5 years. This data allows unique access to the processes at the injection well and sets the baseline for an assessment of the long term behavior of geothermal heat and power plants in the Molasse Basin.

Starting 9 months before the scheduled conversion we injected 5 pulses of fluorescent tracers in a push-pull-setting and monitored the temperatures and hydrochemical composition of injected and produced reservoir water.

The development of the production temperatures went faster than expected, after 4 years of production the initial temperatures have almost been reached. This can only be explained with a vertically heterogeneous distribution of the transmissivity. In this setting, the cold water forms a thin disc which extends much further from the injection well. Thus, the effective area of the heat exchange with the matrix of the aquifer is larger than in a homogeneous setting.

The breakthrough of the tracers was affected by an unexpected delay of the start of the production. The regional flow led to a shift of the injected tracer pulses with the innermost tracer pulse being entirely transposed downstream of the injection well. The recovery rates mirror the sorption coefficients of the individual tracers as determined in batch tests and column tests. It became apparent, that the stagnation phase led to a bias towards sorption with slow kinetics and diffusion-limited matrix interactions. The distribution of an oil phase along the main flow

pathways is the most likely reason for a complete retention of Eosine which has the highest Kow value of all injected tracers.

The hydrochemical data showed a significant increase of the concentrations of calcium, magnesium, and bicarbonate indicating a dissolution of dolomite. The dissolution overcompensates the effects of the increases viscosity of the injected cold water. Modeling results indicate that lower temperatures and different lithostratigraphy are contributing to the dissolution. These processes would also occur if the water would be produced from a dolomite and injected into a limestone, which explains why most facilities in the Molasse Basin have recorded decreasing injection pressures.

With the results from the Pullach field lab, a number of hypotheses have been experimentally proven, thus reducing the ambiguity of the prediction of the long-term development and providing a positive perspective for future exploration activities.

O 12.2: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 10:30-10:45

Der Einfluss heterogener Störungszonen auf den Thermalwasserfluss im Aquifer des Malms im Bayerischen Molassebecken – Eine Sensitivitätsanalyse durch hydraulische Simulationen

Florian Konrad[1]

[1] *Lehrstuhl Hydrogeologie, Technische Universität München*
Kontakt: florian.konrad@tum.de

For the geothermal exploration the Malmaquifer located in the northern foreland basin of the Alps is really important as a groundwater reservoir. The reasons for that are its orientation and properties, which imply a big geothermal potential that is already used in thirteen locations in the area of Munich. Several new exploration sites are under construction or being planned. This work supports the investigation of a new site in the southwest of Munich carried out by the company Erdwärme Bayern. Therefor the flow in a faultsystem that is known from seismic data is analyzed by the use of a detailed numerical model. The model is nearly 1650 meters long, 1000 meters wide and about 650 meters high. To accomplish that the open source software OpenGeoSys is being used. By applying an unstructured mesh OpenGeoSys allows to implement faults into the model that have a complex shape in 3D space without simplifying any geometry which is derived from seismic data. Besides the planned drilling path the model considers three geological units. These units contain the rocks from Malm-Alpha to -Gamma, Malm-Delta & -Epsilon and Malm-Zeta together with Purbeck. Furthermore the researched faultsystem represents a graben structure, which is defined by a synthetic main normal fault and a antithetic normal fault. Those faults are represented in the model by a 5 meter wide fault core and a 80 meter wide damage zone. The groundwater flow is studied by permeability variation of all fault elements based on literature values of the corresponding matrix and by

monitoring the pressure behavior over time in the wellhead. In case of a highly permeable fault core a discrete 2D-Element is used. Simulations in OpenGeoSys have shown that with the available boundary conditions and with their special adjustment it is not possible to prevent the unwanted influence caused from the boundaries. Due to that fact the exact pressure drawdown values as well as the resulting productivity indices are not meaningful. Despite that qualitative conclusions about the influence of the individual model areas could be made and questions about the planned drilling path could be derived. In general the software test revealed that it is possible to simulate the reservoir flow in detail on small scale with OpenGeoSys. However to use the simulation results quantitative the further development of the boundary conditions is required. That was not possible due to time limitations in the process of this work.

O 12.3: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 10:45-11:00

Energetische Folgenutzung stillgelegter Grubenbaue des Erzbergbaus: eine optimierte Variante

Georg H. E. Wieber[1], Frieder Enzmann[1], Michael Kersten[1]

[1] *Institut für Geologie, Uni Mainz*
Kontakt: wieber@uni-mainz.de

Grubenwässer des ehemaligen Erzbergbaus stellen im Rheinischen Schiefergebirge einen Rohstoff mit Wärmepotential (geothermische Energie) dar. In der letzten Abbauphase des Erzbergbaus im Siegerland wurden zur wirtschaftlichen Optimierung Verbundgruben geschaffen (Fenchel et al., 1985). Dabei wurden über Tiefbausohlen von mehreren Kilometern Länge die benachbarten Einzelvorkommen miteinander verbunden (Schmoll, 1957). Der Bergbau erreichte Teufen von z.T. über 1.000 m, die Länge der gefluteten Tiefbausohlen addiert sich bei den ehemals bedeutenden Anlagen auf mehrere 10-er Kilometer. Durch die Stilllegung und Flutung wurden bedeutende Wasserreservoire geschaffen (Wieber, 1999), die erhöhte Temperaturen und somit ein hohes geothermisches Potential aufweisen. Für eine geothermische Nutzung können sich in gefluteten Bergwerken im Einzelfall sehr gute Randbedingungen ergeben:

a) warmes Grundwasser mit z.T. hohen Schüttungen wurde bereits durch den Bergbau erschlossen,
b) freier Auslauf großer Grundwassermengen mit erhöhten Temperaturen über den Tiefen- bzw. Entwässerungsstollen,
c) Einstau erheblicher Wasservolumen mit hohem Wärmepotenzial in den gefluteten Grubenbauen,
d) Erschließung großer Teufen mit erhöhten Temperaturen über Tiefschächte,
e) Erschließung der Grubenbaue über den Tiefen Stollen.

Die gefluteten Tiefbausohlen und Schächte können vereinfacht als ein System kommunizierender Röhren betrachtet werden und fungieren bei einer geothermischen Nutzung als „überdimensionale“ Wärmetauscher (Wieber & Streb, 2012). Allerdings ist die Bergwerkshydraulik sehr komplex und es kommen unterschiedliche Fließarten nebeneinander vor (Wolkersdorfer, 2008).

Am Beispiel einer Verbundgrube an der Heller (Siegerland) wurden Varianten für die geothermische Nutzung untersucht (Streb, 2012). Dabei konnten über Szenarienmodellierungen mittels FEFLOW optimale Varianten entwickelt werden. Neben den frei auslaufenden Wässern (ca. 10 l/s mit 17°C) des Wasserlosungsstollens konnte eine zusätzliche geothermische Nutzung mit „Förderung – Wärmeentzug – Reinfiltration der abgekühlten (oder auch erwärmten) Wässer“ entwickelt werden. Eine hydraulische und thermische Beeinflussung der frei auslaufenden Wässer soll dabei aber nicht stattfinden.

Die geothermische Nutzung wurde zwischenzeitlich von der zuständigen Bergbehörde genehmigt. Vorgesehen ist ein kaltes Warmwärmenetz, welches von mehreren kommunalen und gewerblichen Abnehmern mittels Wärmepumpentechnik genutzt werden soll. Im Rahmen der Umsetzung sind weitere Untersuchungen zur Grundwasserhydraulik und zum Wärmefluss vorgesehen. Bei der Grubenwasserförderung und dem Wärmeentzug soll ein Sauerstoffzutritt weitgehend vermieden werden, um Ausfällungen quantitativ zu minimieren. Ebenso ist es geplant, Wärmetauscher aus unterschiedenen Werkstoffen einzusetzen.

Literatur

Bornhardt, W. (1912): Über die Gangverhältnisse des Siegerlandes und seiner Umgebung. – Arch. Lagerstättenforsch., 2, Tl. II: 444 S., 57 Abb., 14 Gangbilder, Berlin.

Fenchel, W., Gies, H., Gleichmann, H.-D., Hellmund, W., Hentschel, H., Heyl, K.E., Hüttenhain, H., Langenbach, U., Lippert, H.-J., Lusznat, M., Meyer, W., Pahl, A., Rao, M.S., Reichenbach, R., Stadler, G., Vogler, H., Walther, H. (1985): Sammelwerk Deutsche Eisenerzlagerstätten, I. Eisenerze im Grundgebirge (Varistikum), 1. Die Sideriterzgänge im Siegerland-Wied-Distrikt. – Geol. Jb. Reihe D (Mineralogie, Petrographie, Geochemie, Lagerstättenkunde), H. 77, 517 S., 128 Abb., 38 Tab., 31 Taf., Hannover.

Schmoll, G. (1957): Kurzgefasste Darstellung des Erzbergbaus im Siegerland. – 70 S., Betzdorf.

Streb, C. (2012): Hydrochemische und hydraulische Untersuchungen eines gefluteten Bergwerkes – Thermodynamische Modellierung zur geothermischen Nutzung des Grubenwasserpotentials. – 257 S., Mainz (Diss.).

Wieber, G. (1999): Die Grubenwässer des ehemaligen Blei-, Zink-, Kupfer- und Quecksilber-Erzbergbaus an Beispielen des westlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Saar-Nahe-Senke. – 250 S., 69 Abb., 57 Tab., Gießen.

Wieber, G., Streb, C. (2012): Geothermische Nutzung gefluteter Grubenbaue – Variantenstudie für das Grubenfeld Margarethe I des Florz – Füsseberger – Gangzuges. – 56 S., Bingen (unverröff.).

Wolkersdorfer, C. (2008): Water management at Abandoned Flooded Underground Mines – Fundamentals, tracer tests, modelling, water treatment. – 465 S., 125 Abb., 29 Tab.; Berlin (Springer).

O 12.4: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 11:00-11:15

X-ray computer tomography data processing – an important step towards the qualitative assessment of porous media

Swarup Chauhan[1], Wolfram Rühaak[1], Ingo Sass[1]

[1] *Technische Universität Darmstasdt*
Kontakt: chauhan@geo.tu-darmstadt.de

Over the last decade X-ray computer tomography (XCT) has provided a non-destructive means for visualising and quantifying porous material in 3D. This has enabled researchers and engineers to numerically determine the petro-physical, hydro-physical properties directly from XCT images of soil and rock samples. Despite its high spatially resolved data quality, processing the XCT data and extracting reliable/accurate information is a challenging task. Accurately segmented 3D XCT images can further assist in parameterising digital rock physics models (DRP) which simulate transport properties such as permeability tensor and provide insight into physical phenomena such as distribution of multi-component fluids, or Haines jump mechanism which cannot be measured in laboratory. Three different techniques - namely unsupervised, supervised, and ensemble clustering techniques - were applied to segment XCT rock images and estimate porosity in different rock types. The obtained results were compared with laboratory measurements. Based on sensitivity studies the accuracy and speed with which the above mentioned machine learning techniques performed segmentation and classification the XCT images were compared. Further more geometrical pore size distribution, and effective bulk permeability was calculated using pore network modelling to access the reliability of these segmentation/classification schemes.

O 12.5: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 11:45-12:00

Grundwasserschutz bei Erdwärmesondenanlagen

Annette Oberle[1], André Voutta[2], Thomas Rumpelt[1]

[1] *Smoltczyk und Partner GmbH*
[2] *André Voutta Grundwasserhydraulik*
Kontakt: oberle@smoltczykpartner.de

Für den Neubau eines Bürogebäudes in Stuttgart-Möhringen wurde zur Deckung des Heiz- und Kühlbedarfs eine Geothermieanlage mit 44 rund 120 m tiefen Erdwärmesonden hergestellt, wobei 32 Sondenköpfe überbaut wurden. Die Erdwärmesonden durchdringen zwei Grundwasserleiter, die Angulatensandsteinschichten des Unteren Jura und die Stubensandsteinschichten des Keupers, getrennt durch den Grundwassergeringleiter, den Knollenmergel.

Zum Schutz des Grundwassers erteilte die Genehmigungsbehörde, das Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart, die folgenden Auflagen:

- Die Grundwassertemperatur im Bereich des Sondenfeldes sollte sich über das Jahr weitestgehend regenerieren.
- Nur eine geringe Ausbreitung der Temperaturfahne in die Umgebung des Sondenfelds ist erlaubt.
- Der Nachweis der Dichtigkeit der Hinterfüllung der überbauten Erdwärmesonden muss erbracht werden.
- Ein Monitoring der Grundwassertemperatur ist während des Betrieb erforderlich.

Über die Anwendung eines Grundwasserströmungsmodells gekoppelt mit Wärmetransport wurde nachgewiesen, dass selbst nach dreißigjährigem Betrieb der Geothermieanlage sich die Grundwassertemperatur durch den alternierenden Betrieb von Heizen (Wärmeentzug) und Kühlen (Wärmeeintrag) weitestgehend regeneriert. Außerdem zeigten die Berechnungen, dass die Grundwassertemperaturen in 10 m Entfernung vom EWS-feld deutlich weniger als 5 Kelvin und in 50 m Entfernung weniger als 2 Kelvin erhöht sein werden.

Für die Hinterfüllung der Erdwärmesonden wurde ein magnetisch dotierter Dämmer verwendet. Über die Messung der magnetischen Suszeptibilität konnte der Verpressvorgang kontrolliert dokumentiert werden. Durch die Kontrollmessung nach dem Verpressen konnte nachgewiesen werden, dass funktionale Fehlstellen in der Hinterfüllung nicht vorliegen. Durch Aufnahme des GPS-Signals und des Datums-/Zeitprotokolls lagen somit ein fälschungssicherer Nachweis der sachgemäßen, technisch einwandfreien Verfüllung der EW-Sonden durch die Bohrfirma vor. Seit Mai 2015 ist die Methode in die Leitlinien Qualitätssicherung EW-Sonden Baden-Württemberg aufgenommen worden.

Über kontinuierliche Temperaturmessungen mithilfe eines eingebauten Lichtwellenleiterkabels in einer EWS-Bohrung und Datenlogger in GW-Messstellen im Zu- und Abstrom kann beim Betrieb der Anlage zukünftig die Entwicklung der Grundwassertemperatur dokumentiert und mit der prognostizierten Temperatur verglichen werden.

Drei Komponenten, die Berechnung der Auswirkungen des Wärmeeintrags und –entzugs mithilfe von numerischer Modellierung, die Verwendung magnetisch dotierten Dämmers und das kontinuierliche Monitoring der Temperatur garantieren somit den Grundwasserschutz im Bereich der EWS-Anlage, nicht nur thermisch, sondern auch zur Wahrung der Stockwerkstrennung und Vermeidung möglicher Schäden.

O 12.6: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 12:00-12:15

Empfehlungen für die Anforderungen an die hydraulische Durchlässigkeit des Systems Erdwärmesonde

Sven Rumohr[1]

[1] *Abt. Wasser, Dezernat Hydrogeologie, Grundwasesr, Hessisches Landesamt für Natur, Umwelt und Geologie*
Kontakt: sven.rumohr@hlnug.hessen.de

Die Notwendigkeit einer vertikalen Abdichtung der Ringräume von Erdwärmesondenbohrungen wird bereits seit langem durch Regelwerke, Richtlinien, Erlasse, Leitfäden etc. aus Trinkwasserschutzgründen gefordert. Eine exakte (bezifferte) Definition der geforderten Abdichtung fehlt hierbei in der Regel jedoch. Dies führt dazu, dass die Anforderung „Abdichtung" in der Praxis eine Grauzone darstellt, die weder seitens der Genehmigungsbehörde kontrolliert noch seitens der Geothermiebranche belegt werden kann.

Die in den vergangenen Jahren von verschiedenen Instituten durchgeführten Untersuchungen zur Frost-Tau-Wechsel-Widerstandsfähigkeit von Verfüllbaustoffen sowie zu dem Einsatz von äußeren und inneren Zentrierhilfen bestätigen, dass die hydraulische Durchlässigkeit von verfüllten Erdwärmesondenbohrungen nicht allein von der Materialeigenschaft des verwendeten Verpressmaterials abhängt. Insbesondere die vertikale Durchlässigkeit des Gesamtsystems „Erdwärmesondenbohrung" wird für die Schaffung hydraulischer Fenster in grundwasserschützenden Trennschichten und damit für nachteilige wasserwirtschaftliche Folgen verantwortlich gemacht. Die vertikale Durchlässigkeit wird im Wesentlichen durch einen sich zwischen Sondenrohr und Verpressmaterial bildenden Ringspalt bestimmt. Die Gründe für die Entstehung des Ringspaltes sind vielfältig. Sie liegen unter anderem darin begründet, dass die verwendeten Materialen keine abdichtenden Verbindungen miteinander eingehen sowie, dass die Sonden während der geforderten Druckprüfungen und des späteren Betriebes physikalischen Kräften ausgesetzt werden, welche Einflüsse auf das Sondenmaterial ausüben.

Durch den Bund/Länder-Ausschusses Bodenforschung (BLA-GEO) und den Direktorenkreis (DK) der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) wurde daher über die Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaft Hydrogeologie (Ad-hoc-AG Hydrogeologie) der Personenkreis „Durchlässigkeit des Systems Erdwärmesonde" initiiert, der mit der Erarbeitung von Empfehlungen für die Anforderungen an die hydraulische Systemdurchlässigkeit von Erdwärmesonden beauftragt wurde.

Der Vortrag erläutert die Empfehlungen des Personenkreises „Durchlässigkeit des Systems Erdwärmesonde" und gibt einen Überblick auf die sich aus den o. g. Versuchen erkennbare Problematik „vertikale Durchlässigkeit" und geht der Frage nach, welchen Einfluss dies auf die wasserwirtschaftlichen Anforderungen sowie auf den Einbau und Betrieb von Erdwärmesonden haben könnte. Des Weiteren werden Lösungsansätze, den Begriff „Abdichtung" zu beziffern, erläutert und diskutiert. Hierzu gehört u. A. auch, ob die Anforderungen bzgl. der

vertikalen Abdichtung von Erdwärmesondenbohrungen nur den Verfüllbaustoff oder auch weitere Komponenten des Gesamtsystems „Erdwärmesondenbohrung“ berücksichtigen müssen.

Literatur

PK Geothermie (2015): Empfehlungen für die Anforderungen an die hydraulische Durchlässigkeit des Systems Erdwärmesonde. Internetlink: http://www.infogeo.de (ab Ende 2015 verfügbar)

O 12.7: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 12:15-12:30

Projektierung einer geothermischen Brunnenanlage zur Klimatisierung eines neuen ICE-Wartungswerkes in Köln-Nippes

Valentin Wagner[1], Dirk Brehm[2], Stefan Zarda[1]

[1] *DB Immobilien, Deutsche Bahn AG*

[2] *BGU Dr. Brehm & Grünz GbR*

Kontakt: valentin.wagner@deutschebahn.com

Der Deutsche Bahn Konzern als einer der größten Arbeitgeber in Deutschland trägt eine besondere Verantwortung für Gesellschaft und Umwelt. Dieser Verantwortung ist sich der Konzern bewusst und hat sie mit seiner „Strategie DB2020“ in sein zukünftiges Vorgehen fest integriert. Gesetztes Ziel ist, Umwelt-Vorreiter zu werden, indem unter anderem die CO_2-Emissionen reduziert und die Ressourceneffizienz gesteigert werden.

Ein Pilotprojekt auf dem Weg hin zum Umweltvorreiter ist der Neubau eines CO_2-neutralen ICE-Werks in Köln. Die Gesamtfläche des Projektes beträgt rund 27 ha und es werden insgesamt 4 Gebäudekomplexe neu errichtet. Für die Klimatisierung aller Gebäude werden jährlich insgesamt 5 GWh Heiz- und 1 GWh Kühlenergie benötigt. Zur Nutzung von Grundwasser aus einem quartären Kiesaquifer als Wärme- und Kältequelle wird eine geothermische Brunnenanlage errichtet, die im Volllastbetrieb 600 m³/h Grundwasser bereitstellt.

Im Rahmen dieses Beitrags wird dargestellt, wie durch eine konsequente Projektplanung von Beginn an unter Berücksichtigung aller Genehmigungsauflagen im Umfeld des urbanen Raums und des Gleisbereiches eine Geothermische Brunnenanlage effizient und wirtschaftlich erstellt werden kann.

Aus der Sicht der Geothermie umfasst das Projekt mehrere Spannungsfelder zwischen den ökonomischen Rahmenbedingungen, den Aspekten von Eisenbahninfrastruktur und -betrieb, den Genehmigungsauflagen im Kontext des urbanen Raumes insbesondere in Bezug auf die thermischen Auswirkungen und der hydrogeologischen Untergrundsituation. An mehreren Beispielen aus den unterschiedlichen Planungsphasen soll exemplarisch dargestellt werden, wie diese Spannungsfelder idealerweise in Einklang zu bringen sind:

(i) Erhöhte Investitionskosten, da unter den zu querenden Gleisen spezielle Transportleitungen zwischen den Brunnen und der Heizzentrale verwendet werden müssen;

(ii) Wasserrechtliche Limitierung der Temperaturspreizung des Grundwassers auf 4,5 K auf Grund der thermischen Vorbelastung des Untergrundes beziehungsweise des „Urban Heat Island Effects“ im Kölner Ballungsraum;

(iii) Verzicht auf einen eventuell redundanten Energieerzeuger (z.B. Gasheizung), durch eine auf hohe Betriebssicherheit ausgelegte Anlagenplanung auf Grundlage von Pumpversuchen und numerischen Simulationen.

Ungeachtet dieser komplexen Randbedingungen konnte durch die frühzeitige Einbeziehung der Geothermie in das Gesamtenergiekonzept prognostiziert werden, dass auf die Mehrinvestitionen für ein geothermisches System im Vergleich zu einem Standardsystem durch die Einsparung von Energiekosten über einen Zeitraum von 20 Jahren eine Verzinsung von über 14% erreicht werden kann. Daher ist der Neubau des ICE-Werks in Köln-Nippes nicht nur ein erfolgversprechendes Leuchtturmprojekt für den DB-Konzern hin zum Umweltvorreiter, sondern auch ein eindrucksvoller Beleg, dass oberflächennahe Geothermie eine wirtschaftliche, ressourcenschonende Energiequelle auch unter erschwerten Bedingungen ist.

O 12.8: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 12:30-12:45

Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet von Basel (Schweiz) – Nutzungskonflikte und Lösungsansätze für urbane Wärmeinseln

Matthias H. Müller[1], Jannis Epting[1], Lukas Egli[1], Peter Huggenberger[1]

[1] Abteilung Angewandte & Umweltgeologie (AUG), Universität Basel
Kontakt: matthiash.mueller@unibas.ch

Die Temperatur des oberflächennahen Untergrundes in urbanen Gebieten wird durch zahlreiche natürliche und anthropogene Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen beispielsweise die Versiegelung von Flächen, offene oder geschlossene geothermische Anlagen, Tunnelbauten, Kellereinbauten, die ins Grundwasser reichen, Parkhäuser, Leitungsnetze und Abwasserkanäle im Untergrund (vgl. Benz et al., 2015; Epting et al., 2013). Aktuell steigt die Nachfrage nach thermischer Nutzung von oberflächennahem Grundwasser aus dem Schotteraquifer im Stadtgebiet von Basel stark an. Diese steigende Nachfrage kann zu Nutzungskonflikten mit anderen Grundwassernutzungen, Untergrundstrukturen, Altlasten und dem Grundwasserschutz führen und erfordert daher eine effiziente und nachhaltige (thermische) Bewirtschaftung des oberflächennahen Untergrundes. Gemäß der Gewässerschutzverordnung der Schweiz (GSchV, 2015) und der „Wegleitung Grundwasserschutz“ (BUWAL, 2004) darf die Grundwassertemperatur durch die thermische Nutzung 100 m im Abstrom des Rückgabestandortes um höchstens 3 K im Vergleich zum „natürlichen“ Zustand verändert werden. Im Kanton Basel-Stadt wird hierbei momentan von einer „natürlichen“ Grundwassertemperatur von 12 °C ausgegangen. Der-

zeit werden aber in stark urbanisierten Regionen von Basel bereits Grundwassertemperaturen von bis zu 18 °C im Jahresmittel gemessen. Etwa 50% der Messstellen, die im städtischen Gebiet liegen, wiesen in den Jahren 1994 bis 2013 eine Grundwassertemperatur von über 12,9 bis 14,4 °C im Jahresmittel auf (Abb. 1).

Es werden daher Instrumente benötigt, die den Ist-Zustand der Grundwassertemperaturen erfassen, sowie Szenarien zu verschiedenen Einflüssen auf die Temperaturentwicklung in urbanen Grundwasserkörpern abbilden können (z.B. Temperatur-Monitoring-Systeme und numerische Modelle der Grundwasserströmung und des Wärmetransportes). Analytische Modelle werden in Kombination mit tiefendifferenzierten Temperatursensoren verwendet, um den Einfluss des Wärmeeintrags über die Atmosphäre in den Untergrund abzuschätzen. Die Simulationsergebnisse von regionalen, numerischen Wärmetransportmodellen ermöglichen es den Einfluss von bestehenden oder zukünftigen thermischen Grundwassernutzungen oder Einbauten ins Grundwasser auf das thermische Grundwasserregime unter instationären Bedingungen und mit räumlich variablen Aquiferparametern abzuschätzen oder für verschiedene Teilgebiete Jahresbilanzen des Wärmetransportes zu berechnen.

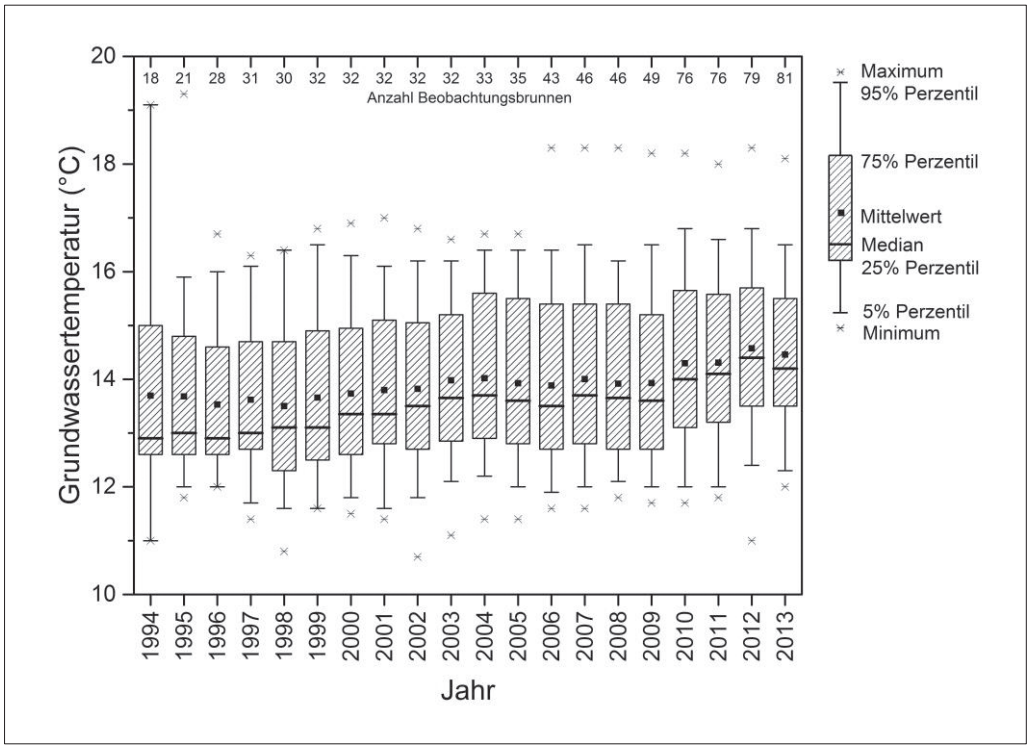


Abb. 1: Statistische Auswertung der Jahresmittel der Grundwassertemperaturen in urbanen Gebieten der Stadt Basel und zeitliche Entwicklung des Messstellennetzes (Datengrundlage: Amt für Umwelt und Energie, Basel-Stadt, Schweiz).

Literatur

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: 427-439.

BUWAL (2004): Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Switzerland.

Epting, J., Händel, F., Huggenberger, P. (2013): Thermal management of an unconsolidated shallow urban groundwater body. - Hydrol. Earth Syst. Sci., 17(5): 1851-1869.

GSchV (2015): Gewässerschutzverordnung Schweiz, Bern, Switzerland.

Poster

P 12.1

Alteration products of reservoir rocks of the Upper Rhine Graben under geothermal conditions

Roman Schmidt[1], Kurt Bucher[2], Ingrid Stober[1]

[1] *Karlsruhe Institute of Technology*
[2] *University of Freiburg*
Kontakt: roman.schmidt@kit.edu

Deep seated fault systems play an important role in the utilization of deep geothermal energy, especially in non-volcanic enhanced geothermal systems with low natural permeability. In such settings the fluid migration and heat convection takes place through the connected fracture network that is often saturated with saline geothermal fluids, interacting with the primary and secondary mineral content of the host rock. The aim of this research is to comprehend the mineralogical alterations that occur, when the primary mineral assemblage is subjected to a synthetic geothermal fluid at temperatures above 200 °C.

Batch-type experiments with 2 molar Na-Cl solutions and cylindrical hard rock samples have been performed. Samples were taken from four different lithologies representing potential reservoirs for future geothermal exploration: Malsburg granite (crystalline basement), Tennenbach sandstone (Lower Buntsandstein), Pfinztal sandstone (Upper Buntsandstein) and Keltern limestone (Upper Muschelkalk). Both, the solid samples as well as the fluid samples will be studied in order to draw a more general picture of the reaction process. The rock sample will be analyzed for dissolution processes, ion exchange reactions of primary minerals and precipitation of secondary minerals.

After extraction of the granite samples from the experiment, the surface mineral grain are disintegrated from the matrix. The main dissolution features that can be observed in SEM images are deep holes in quartz grains. The feldspars, however, do not show substantial dissolution, but are often covered with newly formed clay precipitates. Near-surface biotite grains are totally altered to greenish chlorite. The two sandstone samples show a different reaction

behavior. Quartz dissolution is less pronounced than in the granite samples. While the feldspar remains mostly unaffected, muscovite grains show substantial alteration. The most prominent precipitate that can be found in the SEM images is analcime that occurs in spherical shape in the close vicinity to feldspar grains. It is usually associated with few-µm small hexagonal kaolinite. The limestone samples are characterized by dissolution and recrystallization processes of calcite on the surface of the hard rock sample.

This project is supported by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi, no: 0325623C).

P 12.2

Assessing thermal potential and iron (hydr)oxide precipitation around Aquifer Thermal Energy Storage wells in the phreatic aquifer of the Brussels Sand formation

Christian Anibas[1], Janik Kukral[1], Mathias Possemiers[2], Uwe Schneidewind[3], Marijke Huysmans[1]

[1] *Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel (VUB)*
[2] *Department of Earth and Environmental Sciences, KU Leuven (currently working at AGT)*
[3] *Department of Engineering Geology and Hydrogeology, RWTH Aachen University*
Kontakt: schneidewind@lih.rwth-aachen.de

To reduce greenhouse gas emissions sustainable energy systems with a high efficiency are required, e.g. using aquifers as an ecosystem service (Bonte et al., 2011). The presented study investigates the potential of aquifer thermal energy storage (ATES) in the Brussels Capital Region, Belgium. A measurable improvement in air and groundwater quality can be achieved when this technology is applied extensively; it may also lead to a decrease in primary energy consumption (Zuurbier, 2013).

The target for this study is the Brussels Sand formation, a phreatic aquifer in the center of Belgium with an average depth of 35 m. In a multi-step modeling procedure transient numerical groundwater flow models are constructed in MODFLOW to estimate maximum pumping and injection rates for different scenarios of changing hydraulic conditions and competing water uses. Then, the thermal potential is quantified by simulating heat transport in the subsurface with MT3DMS. In a final step the reactive transport model PHT3D is used to assess the effects of ATES systems operating near the redox boundary. Covering several dozen square kilometers the models investigate these transport processes for representative areas within the Brussels Capital Region.

Important limiting factors for ATES systems are the aquifer hydraulic conductivity and the geochemical composition of the groundwater. At low conductivities ATES wells are not able to pump sufficient water to economically operate the ATES system. Furthermore, iron hydroxide

precipitation can negatively influence well performance due to clogging, or even cause failure (Bustos Medina et al., 2013). This could become problematic, as the Brussels Sand formation is known for its varying redox and hydraulic conditions.

Results show a heat flow rate of up to 10,000 kW for high hydraulic conductivities (i.e. 1.4 x 10^{-4} m/s) measured in the Brussels Sand formation. This energetic potential is appropriate to generate sufficient heating or cooling for large buildings. On the contrary, the lowest hydraulic conductivity found in the Brussels Sand formation (i.e. 4.2 x 10^{-6} m/s) can barely provide sufficient energy for any ATES applications. Hence their potential is very dependent on the local hydraulic conductivity distribution.

The varying redox conditions show that initial mixing plays an important role in the development of iron (hydr)oxide precipitation around the wells, with the highest concentration around the cold well. This behavior is enhanced by the temperature effect; small temperature differences of $\Delta T=10°C$ already influence the iron (hydr)oxide concentration. Avoiding the mixing of oxygen/nitrate rich water with iron rich water remains the best strategy to prevent well clogging.

Feasibility studies for ATES should therefore carefully investigate the distribution of hydraulic conductivity and water quality variations around the well and with depth, and use this information to optimize filter screen settings.

References

Bonte, M., Stuyfzand, P.J., Hulsmann, A., Van Beelen, P. (2011): Underground thermal energy storage: environmental risks and policy developments in the Netherlands and European Union. Ecology and Society 16 (1): 22.

Bustos Medina, D. A., Van Den Berg, G. A., Van Breukelen, B.M., Juhasz-Holterman, M., Stuyfzand, P.J. (2013): Iron-hydroxide clogging of public supply wells receiving artificial recharge: near-well and in-well hydrological and hydrochemical observations. Hydrogeol J 21:1393–1412.

Zuurbier, K.G., Hartog, N., Valstar, J., Post, V.E., Van Breukelen, B.M. (2013): The impact of low temperature seasonal aquifer thermal energy storage (SATES) systems on chlorinated solvent contaminated groundwater: modeling of spreading and degradation. Journal of Contaminant Hydrology 147: 1-13.

P 12.3

Bestimmung des Einflusses der thermischen Nutzung der Stadtbäche Münchens westlich der Isar anhand von Temperatur- und Abflussmessungen

Florian Heine[1], Herbert Schönwetter[2], Patrick Kotyla[2], Kai Zosseder[1]

[1] *Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München*

[2] *Referat für Gesundheit und Umwelt der Stadt München*

Kontakt: kai.zosseder@tum.de

In München befindet sich ein weit verzweigtes Stadtbachsystem, dass bis auf die Gründerstadt im 12. Jahrhundert zurückgeht. Die Bäche wurden unter anderem zum Betrieb von Mühlen

oder Wasserpumpen verwendet oder als Frisch- und Abwasserlieferant (Rädlinger 2004). Heute dienen die teilweise überbauten Stadtbäche zu Naherholungszwecken und werden thermisch zur Wärmeentsorgung von Kältemaschinen genutzt. In Teilen dieser Gewässer haben sich Fische angesiedelt, die auf sommerkalte Gewässer angewiesen und nach der Roten Liste Bayerns (Bohl et al. 2003) teilweise als gefährdet eingestuft sind (Wagensonner 2013). Daraus ergab sich die wasserwirtschaftliche Fragestellung, in wie weit die thermischen Nutzungen die Mischtemperatur der Bäche beeinflussen, denn nach der EU-Fischrichtlinie (EU 2006) darf diese in Salmonidengewässern nur in 2 % der Fälle über 21,5 °C aufgeheizt werden. Anhand von Temperaturmessungen über einen Zeitraum von 22 Monaten und mehrmaligen Abflussmessungen in den Stadtbächen wurde daher versucht, einen Zusammenhang zwischen der thermischen Nutzung und der langfristig beobachteten Erwärmung der Stadtbäche festzustellen.

Der Wärmehaushalt eines Gewässers und dessen Temperatur sind nach Caissie (2006) natürlich von atmosphärischen und topographischen (geografischen) Einflüssen sowie dem Durchfluss und der Gewässerhydraulik abhängig. Die größten Einflusskomponenten sind die Sonneneinstrahlung und die Lufttemperatur. Die Zeitreihen von Luft- oder Wassertemperaturen zeigen naturgemäß saisonale und tageszeitbedingte Schwankungen. Die Wassertemperaturen der Zeitreihe schwanken übers Jahr zwischen 1,8 und 22,6 °C. Die Durchflüsse der thermisch genutzten Stadtbäche bewegen sich zwischen 2,3 bis 6,8 m³/s. Über Zeitreihen- und Kreuzkorrelationsanalysen wurden an unterschiedlichen Messorten die stündlich aufgezeigten Temperaturzeitreihen der Umgebungsluft und der Gewässertemperatur korreliert, um die Stärke ihres Zusammenhangs qualitativ und quantitativ zu erfassen und räumliche Variationen der Wechselwirkung zu untersuchen. Dabei ergab sich ein Korrelationskoeffizient der Luft- und Wassertemperaturen von über 0,9. Um den anthropogenen thermischen Einfluss der maximalen Abwärmeeinleitung von circa 13.3 MW zu erklären, sind die natürlichen Einflüsse in den Zeitreihen der Gewässertemperatur durch Differenzfilter beseitigt worden. Im offenen Bachsystem ist zu beobachten, dass die Grenztemperatur von 21,5 °C an 14 Tagen (ca. 2%) überschritten wird. Diese Grenztemperaturüberschreitungen sind jedoch gänzlich auf den natürlichen Einfluss zurückzuführen. Eine thermische Beeinflussung des Bachsystems durch die anthropogenen Nutzungen ist nach Eliminierung der natürlich bedingten saisonalen und täglichen Schwankungen nicht mehr nachzuweisen.

Literatur

Bohl, E., Kleisinger, H. & Leuner, E. (2003): Rote Liste gefährdeter Tiere Bayerns. – 391 S., Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.

Caissie, D. (2006): The thermal regime of rivers: a review. – In: Freshwater Biology, 51, 8:1365–2427, Hoboken: Blackwell Publishing Ltd.

EU (2006): Richtlinie 2006/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten. – Das Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union, Europäische Union.

Rädlinger, C. (2004): Die Geschichte der Münchner Stadtbäche. – 212 S., München: Stadtarchiv München.

Wagensonner, I. (2013): Beurteilung der Auswirkungen auf Ökologie und Naturschutz im Rahmen des geplanten Vorhabens: Kühlwassereinleitungen in den Westlichen Stadtgrabenbach, München. – (unveröffentlicht), Planungsbüro Wagensonner.

P 12.4

Entwicklung eines Nomogramms durch numerische und statistische Verfahren zur praktischen Abschätzung typischer Wärmestromfahnenlängen am Beispiel der nördlichen Münchener Schotterebene

Kai Zosseder[1], Fabian Böttcher[1]

[1] *Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München*
Kontakt: kai.zosseder@tum.de

Der Energiebedarf zur Kühlung von Gebäuden in Deutschland wird nach Bettenhäuser et al. (2011) bis zum Jahr 2030 um rund 40 % ansteigen. Die geothermische Gebäude- oder Prozesskühlung wird dabei als regenerative Technik mit realistischem Minderungspotential des Elektrizitätsbedarfs beschrieben. Bei der geothermischen Kühlung wird die Abwärme in das Grundwasser eingeleitet, wodurch im Abstrombereich der Anlagen Wärmestromfahnen im Grundwasserleiter entstehen. Angesichts der Prognosen zum steigenden Kühlbedarf und der Vielzahl an neu installierten Nutzung des Grundwassers für Kühlzwecke ist es besonders von Seiten der Genehmigungsbehörden und Planer notwendig einzuschätzen, in wie weit sich die Anlagen durch ihre Wärmestromfahnen gegenseitig negativ beeinflussen werden. Für die Vielzahl an kleinen Anlagen und ihrer wasserrechtlichen Genehmigung ist es nicht durchführbar für jeden Standort die Wärmefahnen numerisch zu berechnen. Daher wurde hier versucht, für eine erste Abschätzung der Wärmestromfahnenlänge ein standortspezifisches Nomogramm zu entwickeln. Dies ist beispielhaft für den Norden der Münchner Schotterebene durchgeführt worden. Die auf die Wärmestromfahnenlänge wirkenden Einflussfaktoren sind in einem abgegrenzten Arbeitsgebiet in den Landkreisen Freising und Erding ermittelt worden. Aus den gesammelten Daten der einzelnen Einflussparameter sind repräsentative Verteilungen abgeleitet worden, um die Variation der Parameter sinnvoll abgrenzen zu können. Die Parametervariationen bilden dann die Grundlage für numerische Modelle, die durch eine Vielzahl an Simulationen mit unterschiedlichen Parameterkombinationen den Einfluss der relevanten Parameter auf die Wärmestromausbreitung quantifizierbar machen. Mit den Resultaten aus den Simulationen ist durch eine multiple lineare Regressionsanalyse der einseitig gerichtete stochastische Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren Grundwassermächtigkeit, Flurabstand, K-Wert, Temperaturspreizung und Pumprate und der Wärmestromfahnenlänge in einer mathematischen Funktion approximiert worden (Rönz & Förster, 1992). Die Wärmestromfahnenlänge musste für das Regressionsmodell mit der Methode nach Box & Cox (1964) an eine Normalverteilung approximiert werden. Die Variablen Flurabstand, K-Wert, Temperaturspreizung und Pumprate

sind nach Box & Tidwell (1962) transformiert worden, um die erforderliche Linearitätsannahme zur Verwendung im Regressionsmodell zu erfüllen (Urban & Mayerl, 2011). Die Regressionsfunktion konnte mit einer multiplen Bestimmtheit von 80 % geschätzt werden und berechnet die modellierten 1K Isothermenabstände mit einem mittleren quadratischen Fehler von ca. 90 m. Abschließend ist die ermittelte Regressionsfunktion in einem Nomogramm graphisch dargestellt worden, womit eine Wärmestromfahnenlänge einfach und schnell, ohne weitere Berechnungen, abgetragen werden kann (Doerfler, 2009) (Abb. 1).

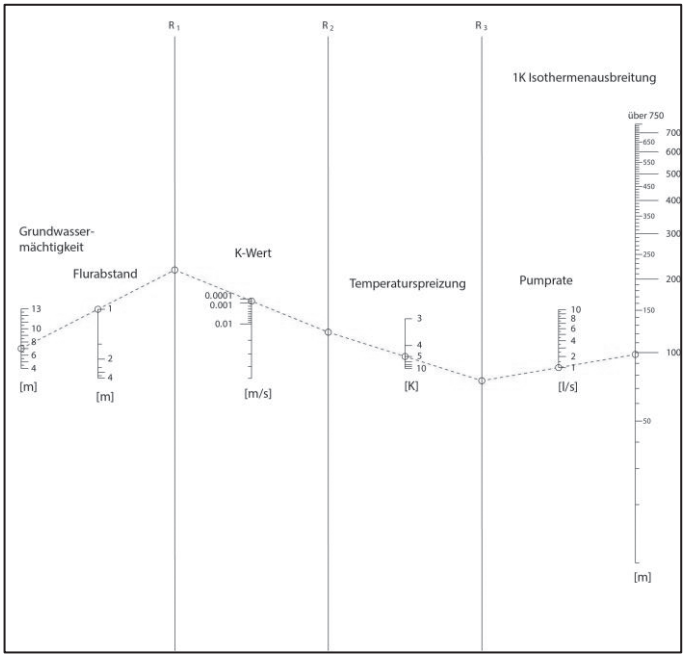


Abb. 1: Nomogramm zur Abschätzung der 1K Isothermen bei Wärmestromfahnenlängen bis 750 m Ausbreitung für den quartären Grundwasserleiter im Nordbereich der Münchner Schotterebene.

Literatur

Bettenhäuser, K., Boermans, T., Offermann, M., Krechting, A., Becker, D., (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. – In: Climate Change, 10/2011, S. 132, Dessau-Roßlau (Umweltbundesamt).

Box, G. E. P., Cox D. R. (1964): An Analysis of Transformations.– Journal of the Royal Statistical Society, Series B 26 (2): 211 – 252, London (Wiley-Blackwell).

Doerfler, R. (2009): On Jargon, The Lost Art of Nomography. – The UMAP Journal 30 (4): 457 – 493, Naperville, US (COMAP).

Rönz, F., Förster, E. (1992): Regressions- und Korrelationsanalyse, Grundlagen - Methoden - Beispiele. – S. 370 Wiesbaden (Gabler).

Box, G. E. P., Tidwell P. W. (1962): Transformation of the Independent Variables.– Technometrics, 4 (4): 531 – 550, Boston, US (American Statistical Association).

Urban, D., Mayerl, J. (2011): Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung.– In: Studienskripten zur Soziologie. – 4. Aufl., S. 365, Wiesbaden (VS Verlag).

P 12.5

Fluid-matrix interactions during high-temperature aquifer storage – lab experiments and modelling

Carina Wismeth[1], Selina Muffler, Martina Ueckert, Reinhard Nießner, Thomas Baumann

[1] *Analytische Chemie, Institut für Wasserchemie TU München*
Kontakt: carina-wismeth@web.de

High-temperature aquifer storage is a promising extension to combined heat and power plants because it allows to store excess heat during the summer months and to recuperate the heat in winter when the heat demand exceeds the production. Within a research project funded by the Bavarian State Ministry for Economic Affairs and Media, Energy and Technology and the BMW Group, a pilot scale test was run at the Dingolfing site (Bavaria, Germany) in 2014. Field data and an a priori numerical model suggest dissolution and precipitation of the processes in the calcareous aquifer. In order to quantify the reaction kinetics, lab experiments were run in an autoclave. The experimental results were used to setup and calibrate a numerical hydrogeochemical model based on PhreeqC.

Laboratory experiments were performed in a closed system with respect to CO_2 and under predefined conditions using a high temperature autoclave. Within the dissolution test series original core samples of different depth were heated up with ultrapure water in defined heating cycles up to 110 °C and at defined pressure. For combined dissolution and precipitation processes, tap water from Munich was used. The gas phase was equilibrated with CO_2 regarding the $p(CO_2)$ of tap water. Five water samples were taken for each heating cycle and analyzed by ion chromatography to quantify the calcium/magnesium concentrations and ratio. Additionally the sorption properties of the core materials were tested with respect to the fluorescent dyes used in the field tests.

The starting point to model the fluid matrix interactions was literature data of dolomite and calcite rates, which were integrated in the conceptional model. While the model results matched the experimentally determined concentrations nicely, there was a discrepancy with respect to the effective surface areas, which is likely due to impurities of the natural rock materials. The model was able to describe the minor precipitation of calcite during the dissolution of dolomite, which was observed in the experiments qualitatively.

P 12.6

High Temperature Aquifer Storage

Martina Ueckert[1], Reinhard Nießner[1], Thomas Baumann [1]

[1] Analytische Chemie, Institute of hydrochemistry, TUM
Kontakt: martina.ueckert@tum.de

Combined heat and power generation (CHP) is highly efficient because excess heat is used for heating and/or process energy. However, the demand of heat energy varies considerably throughout the year while the demand for electrical energy is rather constant. It seems economically and ecologically highly beneficial for municipalities and large power consumers such as manufacturing plants to store excess heat in groundwater aquifers and to recuperate this energy at times of higher heat demand. Although there is a number of aquifer heat storage systems in operation none of them reaches temepratures above 100 °C and flow rates of 60 L/s in a carbonatic aquifer.

Within the project ``High Temperature Aquifer Storage'' a research drilling was established in the Malm Aquifer in Niederbayern, Germany to perform a pilot scale heat storage test. The aquifer mainly consists of dolomites with a small bank of limestone at the top. The test included five injection pulses of hot water (60 °C up to 110 °C) and four tracer pulses, each consisting of a reactive and a conservative fluorescent dye, into a depth of about 300 m b.s.l. resp. 470 m b.s.l. Injection and production rates were 15 L/s. To achieve the desired water temperatures, about 4 TJ of heat energy were necessary.

Electrical conductivity, pH and temperature were recorded on-line at the sampling bypass. The concentration of the tracers and the concentration of the cations was determined on-site to maintain immediate feed-back for the operation of the heat storage test. Samples were taken at intervals of down to 15 minutes.

The research well was flowing freely with up to 19.4 L/s which, together with the high transmissivity, caused a significant mixing of the injected water with formation waters during production.

The disassembled heat exchanger proved that precipitation was successfully prevented by adding CO_2 to the water before heating. Nevertheless, hydrochemical data indicated both, dissolution and precipitation processes in the aquifer. This was predicted by the a priori hydrochemical modelling with PhreeqC and is attributed to mixture corrosion in the mixing zone between injected water and reservoir water and a change of the temperature along the flow path.

Recovery rates of the fluorescent dyes were correlated to their different sorption behaviour and varied between 23 % and up to 79 %. The tracers are an additional tool for the interpretation of the flow patterns in the aquifer.

Due to the hydrochemical contrast of the sodium concentration between injected tap water and reservoir water, an unambigious quantification of the fractions of reservoir and injected water was possible and the temperature development as well as the tracer pulses could be corrected. This set the baseline for a prediction of the operation parameters for flow rates of up to 80 L/s. Almost 50 % of the energy was recovered the end of the short term test, which underlines the feasibility of the heat storage.

P 12.7

Thermal-Hydraulic-Chemical modeling of deep geothermal wellbores using Elmer-PHREEQC

Yodha Nusiaputra[1], Alain Dimier[2], Thomas Kohl [1]

[1] *Karlsruher Institut für Technologie*
[2] *EIFER*
Kontakt: yodha.nusiaputra@kit.edu

Thermal-water THC behavior enters into a variety of geothermal production-operations calculations, including well drilling and completion, stimulation, controlling mineral scaling, and analyzing pressure-transient test data. The availability of reliable downhole pressure data during hydraulic tests of crucial importance for interpreting the behavior of the underground system. Especially in the case of EGS system the high pressure and temperature conditions make downhole measurements rather a challenge and expensive. Downhole pressure/temperature can be measured with PT-tools either at a constant depth for the whole duration of operations as a log within a limited period. As experiences at Soultz have shown, data gaps or even incorrect measurements over extended periods occur (Megel et. al., 2005). Therefore, a new wellbore simulator is established in collaboration between IKET/AGW Karlsruhe Institute of Technology and European Institute for Energy Research (EIFER). The code is developed in Elmer-Python-PHREEQC open-source platform and is able to simulate transient mass flow, pressure, temperature, and equilibrium chemical species concentration profile. The simulator covers mixture of CO_2–N_2–CH_4–H_2S and brine of Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, (HCO_3^-), with certain validity depending on the composition.

In this paper, we present the development, validation, and application of the wellbore simulator. The simulator is assembled by three main models: (1) Equation of State (EoS) of the saline-gaseous thermal-water; (2) mass, momentum, energy (MME) balance model; (3) two-phase model. In order to validate these models, first, the EoS of salts-gases-water is validated through extensive experimental datasets. The modeling results are in good quantitative and qualitative agreement with experimental data, thus presenting the feasibility of the EoS. Second, a benchmark simulations is performed to test the numerical results of temperature against analytical solutions, with classical one-layer (Ramey, H. J., Jr. 1962) and multi-layer (Wu, Pruess 2013) rock stratigraphy. Third, code-to-code validation is performed applying the

flow-pattern (mechanistic) two-phase model used here and the related best estimate thermal-hydraulic two-phase code Dymola-TIL, with pure water as the working fluid.

Finally, we apply the model to examine two-phase flow importance on the pressure, temperature, mineral/gas saturation index, and pH (T-H-C) profile of a deep geothermal wellbore. Two models are proposed in this work. The first model is homogenous which neglects the salt/gas effect, while the second one incorporates the flow-pattern (mechanistic) approach and salt/gas effect. Both models coupled with the geochemical solver to calculate the mineral and gases saturation indices. Numerical results will be presented, illustrating the effect of thermal-water composition and the feasibility of the approach.

References

Megel, T. (Ed.) (2005): Downhole Pressures Derived from Wellhead Measurements during Hydraulic Experiments. With assistance of T. Kohl, A. Gerard, L. Rybach, R. Hopkirk. World Geothermal Congress. Antalya, 24-29 April. GEOWATT AG. Turkey.

Ramey, H. J., Jr. (1962): Wellbore Heat Transmission. In Journal of Petroleum Technology 14 (4). DOI: 10.2118/96-PA .

Wu, Y.-S.; Pruess, K. (2013): An Analytical Solution for Wellbore Heat Transmission in Layered Formations (includes associated papers 23410 and 23411). In SPE Reservoir Engineering 5 (04), pp. 531–538. DOI: 10.2118/17497-PA .

P 12.8

Waiweras Warmwasserreservoir – Welche Aussagekraft haben Modelle?

Michael Kühn[1], Charlotte Altmannsberger[2], Carmen Hens[2]

[1] *Sektion Hydrogeologie, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ*

[2] *Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam*

Kontakt: michael.kuehn@gfz-potsdam.de

Das geothermische Warmwasserreservoir unterhalb der Kleinstadt Waiwera in Neuseeland 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 Förderbohrungen artesisch. Ausgelöst durch eine Überproduktion muss das heiße Wasser heute mit Pumpen gefördert werden. Mitte der 1970er Jahre kam es zusätzlich zum Versiegen der Warmwasserquellen am Strand von Waiwera. Daher wurde in den 1980er Jahren ein Wassermanagementplan durch das Auckland Regional Council (1991) eingesetzt, um das Reservoir zu schützen und den historischen und touristischen Standort zu erhalten.

Das Reservoir befindet sich in einer Tiefe von bis zu 400 m in einer Sandsteinformation. Das geothermische Wasser, das mit ca. 50 °C über eine Störung an der Basis des Reservoirs einströmt, ist meteorischen Ursprungs und kommt daher vermutlich aus Tiefen zwischen 1.200 m und 2.200 m. Die laterale Ausdehnung des Systems wird mit einem Radius von ca. 250 m um die zentralen Förderbohrungen angenommen.

Hydrogeologische Modellvorstellungen sind die Basis für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen. Die Modelle können, müssen aber nicht computerbasiert sein. Für das Reservoir Waiweras steht die Frage im Fokus, wie viel geothermisches Wasser dauerhaft verfügbar ist. Modelle werden aber auch genutzt, um den hydraulischen und thermischen Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes zu beschreiben. Unterschiedlich komplexe Ansätze wurden dafür seit den 1980er Jahren erstellt und eingesetzt und werden hier diskutiert.

Die Wasserstände im Reservoir werden im Wesentlichen durch Dichteunterschiede aufgrund von Temperatur, Druck und Salinität, den Tideeinfluss des Meeres und vor allem den Förderraten des geothermischen Wassers bestimmt. Der Wassermanagementplan sieht vor, dass der Wasserstand in der offiziellen Beobachtungsbohrung (Nr. 74) im Jahresmittel 0,5 m ü.N.N. nicht unterschreitet, um den Zustrom von kaltem Grundwasser bzw. Meerwasser zu verhindern. In der Zeit, als ein deutlich zu großes Volumen aus dem Reservoir gefördert wurde, lag der Wasserstand signifikant unterhalb des Meeresspiegels.

Basierend auf einem umfangreichen Datensatz gemessener Wasserstände in der offiziellen Beobachtungsbohrung von 1977 bis 2013 sowie registrierten Förderraten der hauptsächlich betriebenen Brunnen von 1985 bis 2012 wird gezeigt, dass der datengetriebene Ansatz eines abgeleiteten Brunnenmodells nach Theis (Chapman 1998), die beste Prognosefähigkeit für das Reservoir aufweist, wenn das Nutzungsszenario unverändert bleibt. Dagegen verfügen prozessbasierte numerische Modelle (Kühn & Stöfen 2005) über eine höhere Flexibilität bei einer ausreichenden Genauigkeit für den Blick in die Zukunft (Altmannsberger 2015). Der hydrologische Nash-Sutcliffe-Effizienz-Index (Holländer et al. 2014) wurde für die Quantifizierung der Güte der getesteten Modelle herangezogen.

Literatur

Altmannsberger, C. (2015): Bewertung von Wassermanagementwerkzeugen für das geothermische Reservoir Waiwera (Neuseeland). Bachelorarbeit, 82 S.; Universität Potsdam

Auckland Regional Council: Draft Waiwera geothermal groundwater resource statement and 30 allocation plan. Technical Publication No. 112, 47 S.; Auckland, New Zealand (1991)

Chapman, M.G. (1998): Investigation of the dynamics of the Waiwera geothermal groundwater system, New Zealand. Master Thesis, 56 S.; The University of Waikato, Hamilton, New Zealand

Holländer, H., Bormann, H., Blume, T., Buytaert, W., Chirico, G.B., Exbrayat, J.F., Gustafsson, D., Hölzel, H., Krauße, T., Kraft, P., Stoll, S., Blöschl, G., Flühler, H. (2014): Impact of modellers' decisions on hydrological a priori predictions. Hydrology and Earth System Sciences 18, 2065-2085

Kühn, M., Stöfen, H. (2005): A reactive flow model of the geothermal reservoir Waiwera, New Zealand. Hydrogeology Journal 13, 606-626

13 Reaktive Stofftransportmodellierung

Vorträge

O 13.1: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 14:15-14:30

Cumulative Relative Reactivity: A Tool for Catchment-Scale Reactive Transport

Matthias Loschko[1], Thomas Wöhling[2], David Rudolph[3], Olaf Cirpka

[1] *Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen*
[2] *Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden*
[3] *Department of Earth and Environmental Sciences, University of Waterloo*
Kontakt: olaf.cirpka@uni-tuebingen.de

Quantitative understanding of pollutant fluxes from diffuse input and turnover of pollutants at catchment scale requires process-based numerical models that can explain observed time series of heads, fluxes, and concentrations under current conditions and predict future states under changing conditions. The uncertainty of forcing, parameters, and conceptual assumptions as well as the unresolved subscale variability calls for a probabilistic framework, predicting probabilities of reactive-species concentrations rather than single values. Due to the high computational effort, such evaluations cannot be done with a fully coupled, multi-dimensional, spatially explicit reactive-transport model. Conceptual simplifications are needed, keeping spatially explicit calculations whenever required and computationally manageable, but simplifying reactive-transport computations without sacrificing mechanistic understanding.

These simplifications can be achieved with travel- and exposure-time based approaches, where reactive transport is calculated along pathlines, and spatial coordinates are replaced by groundwater travel time. The one-dimensional transport is further simplified by introducing a concentration-independent relative reactivity, which parameterizes the supply of electron donors from the rock matrix. Materials with strong reduction potential, such as peat lenses, exhibit a large relative reactivity, materials clean quartz sand would have a relative reactivity of zero.

With the concept of relative reactivity, the concentrations at a given location and time can be computed from (1) the origin and travel-time of the water parcel, determining the initial concentrations of the compounds when the water parcel was introduced, and (2) the cumulative relative reactivity that the water parcel has experienced while passing through the aquifer. Origin, travel-time, and cumulative relative reactivity are evaluated by particle tracking. For the reactions, ordinary differential equations (ODEs) are solved, in which time is replaced by cumulative relative reactivity. Thus, with a finite set of initial-concentration values, one ODE

solution per initial condition, and the information from particle tracking, concentrations of the electron acceptors can be computed at all times and locations, reducing the computational effort by orders of magnitude. The computational effort is strikingly decreased, and Monte Carlo simulations become possible to account for all uncertainties encountered.

The concept of relative reactivity was tested on a synthetic test case with a single reactive zone. The reactive system involves aerobic respiration and denitrification in the saturated zone. The model runs show that the proposed approach enables an efficient way to create a stochastic framework for catchment-scale reactive transport.

O 13.2: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 14:30-14:45

Multi-Spezies-Modellierung des Transports von großräumigen PFC-Verunreinigungen im Raum Rastatt / Baden-Baden – Kalibrierung und Prognose

Ulrich Lang[1], Armin Durach[1], Michael Rheinhard[2], Thomas Gudera[3], Manfred Flittner[4], Reiner Söhlmann[4], Rudolf-Karl Teichmann[5], Gabriel Striegel[6]

[1] *Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH*
[2] *ARCADIS Deutschland GmbH*
[3] *LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz*
[4] *Landratsamt Rastatt*
[5] *Stadt Baden-Baden*
[6] *Regierungspräsidium Karlsruhe*
Kontakt: lang@kobus-partner.com

Die flächenhafte PFC-Belastung im Raum Rastatt / Baden-Baden erfordert eine umfassende und integrale Betrachtung der Schadenssituation mit Hilfe eines Grundwassermodells (siehe Gudera et al. 2016). Dabei muss die Eintragsfunktion rückwirkend für mindestens 10 Jahre mit Hilfe einer inversen Modellierung bestimmt werden, da das aktuelle Schadenspotenzial auf den mit PFC verunreinigten Flächen erst in den Jahren 2014 und 2015 fast flächendeckend erfasst wurde. Im Grundwasserleiter deuten die erhöhten PFC-Konzentrationen auf einen langjährigen Eintrag und weitergehenden Transport über die Bodenzone, die ungesättigte Zone und den ergiebigen Kiesgrundwasserleiter des Rheintals hin.

Die Stoffgruppe der PFC umfasst mehr als 800 Einzelstoffe, von denen in Boden- oder Wasserproben derzeit 18 Verbindungen in Routineanalysen bestimmt werden können. Diese lassen sich grob in Carbonsäuren und Sulfonsäuren sowie nach Kettenlänge unterteilen. Da bei langkettigen Kohlenstoffverbindungen von einer deutlich stärkeren Sorption auszugehen ist, finden sich vorrangig die kurzkettigen Stoffe bereits im Kiesgrundwasserleiter, während die langkettigen PFC-Verbindungen größtenteils noch immer in der Bodenzone gespeichert sind. Vor diesem Hintergrund haben die Desorption und das Transportverhalten der einzelnen PFC-Verbindungen eine wichtige Bedeutung bei Sanierungsüberlegungen.

Mit dem entwickelten Multi-Spezies-Grundwassermodell wurde der Eintrag der drei im Modell generalisierten PFC-Verbindungen invers anhand einer schematisierten Austragsfunktion aus Boden und ungesättigter Zone flächenspezifisch ermittelt. Auf Grund der Größe des Untersuchungsraumes von mehr als 150 km² wurde dieser in mehrere Teilbereiche unterteilt. Innerhalb der Teilgebiete wird derzeit eine Kalibrierung der flächenspezifischen Eintragsfunktionen durchgeführt.

Die Größenordnung des für die Sorption maßgeblichen Verteilungskoeffizienten der modellierten Spezies wurde anhand von Batchversuchen bestimmt und dem Modell vorgegeben.

Basierend auf dieser Kalibrierung wurden Untersuchungen zur Parameterunsicherheit hinsichtlich Sorption durchgeführt, um eine Bandbreite für die Prognose der zukünftigen Entwicklung der PFC-Konzentrationen im Grundwasser zu bestimmen.

In einer integrierten Betrachtung wurden die Flächen identifiziert, die die hauptsächliche Ursache für die Überschreitung eines Bewertungsindexes sind. Darauf aufbauend werden Detailuntersuchungen durchgeführt und Sanierungsvarianten miteinander verglichen, um eine baldmögliche Reduzierung der Belastung im Grundwasser, insbesondere an Entnahmestellen, auf PFC-Konzentrationen unterhalb der Prüfwerte für die Trinkwasserversorgung zu erreichen.

O 13.3: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 14:45-15:00

Modellierung des Verhaltens organischer Spurenstoffe bei der Langzeit-Uferfiltration

Enrico Hamann[1], Pieter J. Stuyfzand[2], Janek Greskowiak[3], Harrie Timmer[4], Gudrun Massmann[3]

[1] *Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg & Geodienste GmbH*
[2] *KWR Watercycle Research Institute & Technical University Delft*
[3] *Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg*
[4] *Oasen Water Company*
Kontakt: gudrun.massmann@uni-oldenburg.de

Durch vollständige oder teilweise Entfernung von Schwebstoffen, Bakterien, Viren, Parasiten, adsorbierbaren und biologisch abbaubaren Wasserinhaltsstoffen wird während der Uferfiltration meist eine Verbesserung der Wasserqualität erreicht. Auch für viele der in den vergangenen Jahren intensiv untersuchten organischen Spurenstoffe führt die Untergrundpassage zu einer teilweisen oder vollständigen Entfernung der Substanzen, jedoch sind für viele Substanzen keine oder nur unzureichende Informationen zum Sorptions- und Abbauverhalten aus Feld- und Laborversuchen vorhanden. Insbesondere Informationen zum Langzeitverhalten sind rar, da Laborversuche meist von nur kurzer Dauer sind.

An einem Standort am Fluss Lek in den Niederlanden wurden deshalb Untersuchungen zum Langzeitverhalten organischer Spurenstoffe bei der Uferfiltration durchgeführt. Der Standort

zeichnet sich durch permanent influente Bedingungen und Aufenthaltszeiten von mehreren Jahren aus. Ziel der Untersuchungen war es, die Eliminationsleistung für die analysierten Substanzen zu evaluieren und Abbauratenkonstanten und Retardationskoeffizienten für die nur partiell eliminierten Substanzen zu quantifizieren.

Daten des Flusses Lek sowie einer Transekte bestehend aus drei in Fließrichtung angeordneten Grundwassermessstellen wurden für eine Strofftransportmodellierung herangezogen, wobei die Modellierung durch individuelle eindimensionale numerische Modelle in MT3DMS realisiert wurde.

Nur 15 der 29 betrachtenen Substanzen, auf die Flusswasser und Uferfiltrat in irregulären Abständen im Zeitraum von 1999-2013 untersucht wurden, konnten im Uferfiltrat nachgewiesen werden. Von diesen 15 Substanzen verhielten sich 10 (1,4-Dioxan, 1,5-NDS, 2-Amino-1,5-NDS, 3-Amino-1,5-NDS, AOX, Carbamazepin, EDTA, MTBE, Toluen und TPPO) vollständig persistent, das heißt sie zeigten keine Konzentrationsminderung entlang des Fließweges. Die verbleibenden 5 Substanzen (1,3,5-NTS, 1,3,6-NTS, Diglym, Iopamidol, Triglym) wurden teilweise während der Untergrundpassage entfernt. Für diese Substanzen wurden Abbauratenkonstanten 1. Ordnung und Retardationskoeffizienten aus der Modellierung abgeleitet. Zusätzlich wurden die maximalen Halbwertszeiten für 14 der vollständig eliminierten Substanzen basierend auf den Fließzeiten zur Fluss-nächsten Grundwassermesstelle abgeschätzt.

Die Studie ist eine von sehr wenigen Studien, in denen über das Verhalten von organischen Spurenstoffen über sehr lange Zeiträume berichtet wird. Die Ergebnisse bestätigen die Effizienz von Uferfiltratstandorten bei der Vorreinigung des Wassers für die Trinkwassergewinnung. Jedoch zeigt sie auch, dass einige Substanzen sich auch nach mehreren Jahren in unverminderten Konzentrationen im Wasser befinden und sich ausgesprochen persistent verhalten.

O 13.4: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 15:00-15:15

Reaktive Modellierung von Gastransport und Stoffumsetzungenim Untergrund

Ulrich Maier[1], Mette Broholm[2], K. Ulrich Mayer[3], Peter Grathwohl[4]

[1] *Hydrogeologie, UFZ Leipzig*
[2] *Danish Technical University DTU*
[3] *University of British Columbia Vancouver, UBC*
[4] *Universität Tübingen UT*
Kontakt: ulrich.maier@ufz.de

Einen wichtigen Bestandteil der Stoffumsetzungen im Untergrund stellen Produktion, Transport und Austausch von Gasen mit wässriger, organischer oder der Feststoffphase von Boden und Gesteinen dar. Neben Prozessen in Lagerstätten von Erdgas sind Austauschvorgänge mit den Grundwasser von Bedeutung und insbesondere der Austausch von Gasen mit der Atmo-

sphäre, sei es unter Einflussnahme von Pflanzen oder mikrobiellen Prozessen, der Gasbildung in Deponien oder der Ausgasung und des biologischen Abbaus organischer oder volatiler Schadstoffe.

In diesem Beitrag wird die Relevanz verschiedener Prozesse wie Diffusion, Advektion und biogeochemischen Umsetzungen sowie Austauschvorgänge durch Pflanzenwurzeln anhand von Beispielen aufgezeigt.

Für das Værløse Airforce Base Experiment in Dänemark wird das Zusammenspiel von Experimental-Design, Messkampagnen und numerischer Modellierung demonstriert. Während dieses Feldexperimentes wurden 13 Liter eines künstlichen Kerosin-Gemisches mit exakt bekannter Zusammensetzung in einem „Schadstoffherd" in der ungesättigten Bodenzone eingebaut. In einer intensiven Messkampagne wurde die Ausbereitung der flüchtigen und wasserlöslichen organischen Stoffe in der Bodenluft und ins Grundwasser aufgezeichnet. Die Studie wurde durch mikrobiologische Untersuchungen begleitet. Für einige der Stoffe konnte signifikanter biologischer Abbau nachgewiesen werden. Nach Ablauf eines Jahres wurde die im Boden verbliebene Schadstoffmenge wieder entfernt.

Die numerische Modellierung erfolgte mit dem reaktiven Simulations-Code MIN3P (Mayer et al., 2002, Molins & Mayer, 2007). Dieses Modellwerkzeug berücksichtigt Transportprozesse der Diffusion, Dispersion sowie Advektion von Wasser- und Gasphase in porösen Medien in direkter Kopplung mit reaktiven Stoffumsetzungen. Der Einfluss des Bioabbaus auf die Zusammensetzung der organischen Phase über die Zeit konnte mit dem Modell deutlich gemacht werden (Broholm et al. 2005). Für Stoffe, die nur in geringem Umfang biologischem Abbau unterworfen waren, konnten gemessene Stoffkonzentrationen in der ungesättigten Zone schon durch reine Vorwärtsmodellierung sehr gut nachgebildet werden. Das Verhalten anderer organischer Bestandteile wurde durch die Anpassung von mikrobiellen Umsetzungs-Ratenkonstanten im Modell nachvollzogen. Für den Transport durch den Kapillarsaum ins Grundwasser zeigte sich, daß das Zusammenspiel von Grundwasserspiegelschwankungen, Querdispersion in der Wasserphase und Gastransport von Bedeutung ist.

Literatur

Broholm, M.M., Christophersen, M., Maier, U., Stenby E.H., Höhener P., Kjeldsen P. (2005): Compositional evolution of the emplaced fuel source in the vadose zone field experiment at airbase Vaerlose, Denmark. Environmental Science & Technology, 39/21, 8251-8263.

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.

Molins, S., Mayer, K. U. (2007): Coupling between geochemical reactions and multicomponent gas and solute transport in unsaturated media: A reactive transport modeling study, Water Resour. Res., 43, W05435, doi:10.1029/2006WR005206.

O 13.5: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 15:45-16:00

Impact of hydrological pattern on silver nanoparticle transport in soils

Joanna Makselon[1], Dan Zhou[2], Irina Engelhardt[2], Diederik Jacques[3], Harry Vereecken[1], Erwin Klumpp[1]

[1] *Institute of Bio- and Geosciences (IBG-3), Forschungszentrum Jülich*
[2] *Department of Hydrogeology, TU Bergakademie Freiberg*
[3] *Institute for Environment, Health and Safety, Belgian Nuclear Research Centre*
Kontakt: danzhou0617@gmail.com

Silver nanoparticles (AgNP) are one of the most widely used anthropogenic nanoparticles for their excellent physicochemical properties, e.g. high electrical conductivity, catalytic and antimicrobial activity. AgNP can be released into the environment via discharge from industry and waste water treatment plants. In the subsurface, transport of AgNP is driven by their unique physicochemical properties, such as particle size, surface charge, and properties of the porous medium, such as pH value and ionic strength (IS). Currently systematic experimental and numerical investigations addressing the influence of hydrological patterns (e.g. evaporation and irrigation) on the transport of AgNP are still missing. In this study, unsaturated column experiments were conducted in three different hydrological scenarios: continuous irrigation with AgNP followed by i) irrigation with 1 mM KNO_3, ii) flow interruption for 3 days followed by irrigation with 1 mM KNO_3, iii) flow interruption for 3 days followed by irrigation with 0.2 mM KNO_3. Effluent AgNP concentrations were measured by ICP-MS. Laboratory experiments were interpreted with HP1 that couples Hydrus-1D with PhreeqC. The model combines the colloid-filtration theory (CFT) with the Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (DLVO) theory. Sorption at the soil-water (SWI) and air-water interface (AWI) were reproduced using the CFT and linear kinetic sorption equation, respectively. The DLVO theory was implemented as sub-equations of CFT to calculate the attachment efficiency which involves the impact of IS on molecular repulsive electrostatic forces.

Our experimental results show that the breakthrough curves (BTCs) of AgNP exhibited a sharp decrease after the flow interruption compared to that under continuous flow condition and the decrease was more distinctive by irrigation with 1mM KNO_3 than 0.2 mM KNO_3 after the interruption. This sharp decrease can be explained by the hydraulic conditions that developed when the flow was interrupted: reduced water saturation, flow velocity and increased IS by evaporation. Both hydraulic and chemical conditions enable a high AgNP retention. The development of SWI and AWI are directly correlated with evaporation which controls water content and drives the attachment of AgNP at both interfaces. However, the simulation results display that AgNP attachment at the SWI was more important for the retardation than that at the AWI. The hydrological induced changes in flow rate and water content altered the AgNP coefficients that are responsible for the attachment-detachment kinetics at the SWI. However, variable IS also affects the attachment-detachment kinetics at the SWI. Therefore when

analyzing the transport of AgNP, transient hydraulic and variable saturated conditions must be taken into account since they are sensitively driving the transport of AgNP. Their impact on the development of the SWI and changes in IS are mainly responsible for the attachment-detachment kinetics of AgNP.

O 13.6: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 16:00-16:15

Immobile water regions – influence on contaminant transport and density-driven flow

Bastian Knorr[1], Piotr Maloszewski[1], Christine Stumpp[1]

[1] *Helmholtz Zentrum München, Institut für Grundwasserökologie*
Kontakt: christine.stumpp@helmholtz-muenchen.de

Porous aquifers can be highly heterogeneous containing immobile water regions characterized by low hydraulic conductivities. The diffusive mass exchange into such regions influences the fate of solutes in the subsurface. However, the spatial distribution and properties of immobile water regions are often unknown. Therefore, new tracer tools and modelling approaches are needed to quantify properties of mobile and immobile water regions. This is important information to further evaluate the influence of immobile water regions on contaminant transport. In addition, contaminant plumes can have different densities than the ambient groundwater resulting in density-driven flow. Here, little is known about the influence of immobile water regions on this transport process. An analytical model, originally developed for fissured systems, was directly and indirectly validated for porous media by conducting multi-tracer experiments in a well-defined dual-porosity system at different pore-velocities. This approach can be used to estimate properties of both regions even if immobile water regions are randomly distributed (Knorr et al. in press). An extended version of this model, accounting for sorption and degradation, was used to quantify the transport of nitroaromatic compounds in dual-porosity column experiments. Fitted first-order decay rates and retardation factors were found to be independent of pore-velocity. Sorption within immobile water regions enhances the mass exchange into such regions. On the other hand degradation cuts of tailings caused by back diffusion which reduces the risk of a contaminant rebound after a site remediation. Experimental and numerical results on density-driven flow indicated that instabilities tend to move along the boundary surfaces and that the diffusive mass exchange into immobile water regions inhibits the growth of instabilities. The findings of this study advance our understanding about the influence of immobile water regions on reactive solute transport which is important for prediction of contaminant rebounds.

References

Knorr, B., Maloszewski, P., Krämer, F., Stumpp, C. (in press): Diffusive mass exchange of non-reactive substances in dual-porosity porous systems – a column experiment under saturated conditions. Hydrological Processes, doi: 10.1002/hyp.10620

O 13.7: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 16:15-16:30

THC-Modelling of Gt1 Borehole Conditions during the 2011 Failed Circulation Test of the Deep Geothermal Project GeneSys in Hanover

Fabian Nitschke[1], Sebastian Held[1], Thomas Himmelsbach[2], Thomas Kohl[2]

[1] *Angewandte Geowissenschaften, KIT*
[2] *BGR, Hannover*
Kontakt: fabian.nitschke@kit.edu

The project GeneSys had the goal to demonstrate the feasibility of establishing a deep geothermal heat exchanger by only using a single well. It was planned to produce a previously injected fluid from a deep reservoir and reinject it via the annulus of the well into a shallower more permeable formation after heat extraction.

After creating a frac (reservoir) within the Buntsandstein formation in about 3900 m of depth by injecting about 20 000 m^3 of fresh water in May 2011, pressure was shut-in. Within 6 month of residential time, fluid dissolved great amounts of solids to TDS values of at least 450 g/kg_w. During a production test in November of the same year the production tubing of the geothermal well Groß Buchholz Gt1 was clogged due to the formation of a massive halite plug. Consequently the project was put on hold until further notice.

To understand and quantify the complex coupled thermal, hydraulic and chemical processes, conditions were modelled using the THC code TOUGHREACT. For the evaluation of precipitation and dissolution processes in this highly saline environment, the Pitzer ion interaction model was used for all chemical calculations. As halite solubility is first and foremost thermally driven, temperature measurements during the production test were used to calibrate the model. The thermal behavior of the well was modelled in very good agreement to measurements. Also the location of the modelled salt plug and the total amount of precipitated solids comply to observations on site.

O 13.8: Audimax A, Geb. 30.95, 14.04.2016, 16:30-16:45

Parametrisierung von Karbonat-Lösungsraten als Eingangsdaten für THMC-Modelle

Claus-Dieter Heldmann[1], Wolfram Rühaak[1], Ingo Sass[1]

[1] *Institute of Applied Geosciences, Department of Geothermal Science and Technology, Technische Universität Darmstadt*
Kontakt: ruehaak@geo.tu-darmstadt.de

Im süddeutschen Molassebecken werden seit mehreren Jahren jurassische Karbonate als Reservoir für hydrothermale Reservoire genutzt. Die Thermalsole wird zur Energiegewinnung

üblicherweise über Dublettensysteme gefördert. Dabei ist das reinjizierte Fluid nach Abkühlung, Mineral-Ausfällungen und Gasaustritt häufig nicht im chemischen Gleichgewicht mit dem Reservoirsystem aus Sole und Gestein.

An mehreren Geothermiebohrungen im Molassebecken wurde im Bereich der Injektionen eine deutliche Erhöhung der Injektivität nachgewiesen. Zur Erklärung dieser Beobachtung wurden Modellierungen der thermischen, hydraulischen, mechanischen und chemischen Bedingungen und Abläufe durchgeführt (Rühaak et. al, 2015).

Kalklösung erweitert u.a. bestehende Klüfte und trägt damit zur Erhöhung der Durchlässigkeiten bei. In den betrachteten Gesteinen dominieren Kalzium-Magnesium-Minerale die Lösungsraten. Die chemischen Reaktionen in diesen Fluiden mit hoher Mineralisation hängen nicht nur von physikalischen Parametern sondern auch von den einzelnen Spezies ab. Damit haben die Lösungsraten viele Variablen und durch ihre iterative Berechnung einen wesentlichen Anteil an der Rechenzeit der gekoppelten Modelle. Eine für diskrete Werte von Variablen vorberechnete Matrix, die Reaktionsraten durch Interpolation ermittelt, kann diese Rechenzeit verkürzen. Allerdings müssen alle relevanten Variablen berücksichtigt werden und zwar in Intervallen, die angepasst auf den Verlauf der Reaktionsgeschwindigkeit als Funktion sind.

Auf Basis von Kalzit-Lösungsraten wurde mit einem erweiterten PhreeqC Datensatz (Bozau, 2013) eine Matrix der Reaktionsgeschwindigkeiten erstellt, ausgehend von verschiedenen Zusammensetzungen die mit Ausnahme des Calziumkarbonats präferentiell Verdünnungen darstellt. Die Variablen der Matrix sind Temperatur, Druck, Ionenstärke als Maß der Mineralisation, Calcium und Karbonatkonzentration, sowie der pH-Wert. Über den gesamten Bereich der Matrix werden systematisch interpolierte Reaktionsraten mit berechneten Raten der chemischen Modellierungssoftware verglichen.

Zur Verifizierung des Ansatzes findet im Rahmen eines Benchmarks ein Abgleich mit einer explizit berechneten Lösung statt.

Literatur

Bozau, E. (2013): Prozessmodellierung hochsalinarer Wässer mit einem erweiterten PHREEQC-Datensatz. Grundwasser 18, 93–98.

Rühaak, W., Pei, L., Heldmann, C.-D., Bartels, J., Sass, I. (2015): Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Coupled Modeling of Geothermal Doublet Systems in Limestones. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-6378, 2015, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Poster

P 13.1

Improved aquifer characterization using a combination of Hydraulic Tomography and Tracer Testing

Emilio E. Sanchez-León[1], Carsten Leven[1], Claus Haslauer[1], Olaf A. Cirpka[1]

[1] *Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen*
Kontakt: carsten.leven-pfister@uni-tuebingen.de

In recent years, hydraulic tomography has become a more spread method for the characterization of the spatial distribution of hydraulic parameters. Even though this method is able to better reveal subsurface heterogeneity, many details of the hydraulic conductivity distribution remain unresolved that are important for solute transport. Against this background, we developed an approach combining data from hydraulic tomography experiments with tracer testing to gain improved predictions of solute transport. In this work we present the application of the approach for which we estimated the hydraulic-conductivity field in an alluvial aquifer by inverting tomographic pumping tests performed at the Hydrogeological Research Site Lauswiesen close to Tübingen using a regularized pilot-point method. We validated the estimated parameter field with direct-push injection logging profiles and hydraulic-head measurements not used in the inversion. The spatially uniform parameters for transport were estimated by fitting tracer data collected during a forced-gradient tracer test. The estimation required the assumption of a dual-porosity domain to parameterize effects of the unresolved heterogeneity of the aquifer and was necessary in the breakthrough curve fitting to achieve reasonable parameter values. With the estimated hydraulic-conductivity field and transport parameters we were able to successfully predict a second, independent tracer test. The work we present provides an efficient and practical approach to predict solute transport in heterogeneous aquifers without performing elaborate field tracer tests with a tomographic layout.

P 13.2

Impact of external stresses on steady state plume lengths

Sandhya Birla[1], Falk Händel[2], Prabhas Kumar Yadav[3], Rudolf Liedl[2], Bhagu Ram Chahar[1]

[1] *IIT Delhi, Department of Civil Engineering*
[2] *Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft*
[3] *Sharda University, Department of Civil Engineering*
Kontakt: falk.haendel@tu-dresden.de

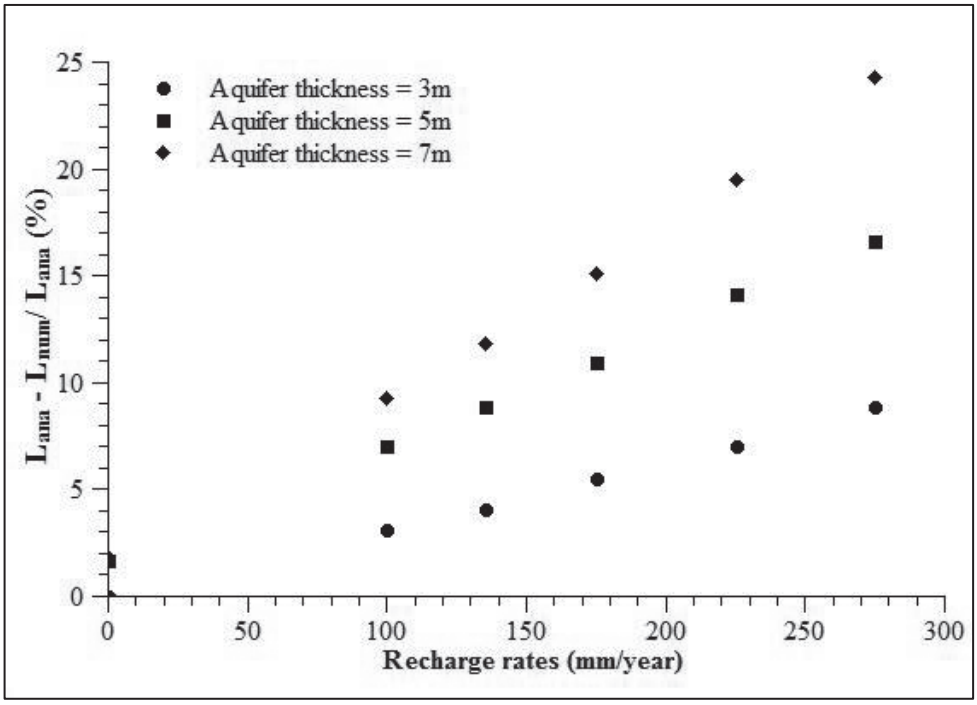


Fig. 1 Percent change observed in Numerical plume length (L_{num}) with respect to Analytical plume length (L_{ana}) for different recharge rates

Knowing the extent of contamination is the most important aspect in the field of contamination management. A number of studies have been carried out in the past to determine the maximum plume length (L_{max}); the emphasis is on L_{max} because it represents the worst case scenario, which is very relevant in the assessment of contamination cases. Frequently, this assessment is based on analytical models, which, however, are inappropriate in quantifying the impact of external stresses, like groundwater recharge, on plume extension. Reactive numerical transport models can overcome this difficulty in principle but require advanced knowledge in adjusting spatial and temporal discretization to the various conservative and non-conservative processes involved. In our contribution we propose to reduce this discrepancy by combining a purely conservative modelling approach with a mathematical transformation suggested, for instance, by Liedl et al. (2011). The presentation is intended to illustrate this combined method and to show some impacts of external stresses on maximum plume length.

One of the two key elements of our approach is a standard numerical technique (as coded e.g. in MT3D) to simulate advective-dispersive solute transport in groundwater. The second key element is a straightforward transformation provided in Liedl et al. (2011) and Yadav et al. (2013) that allows to replace the reactive transport problem by a conservative one and to recalculate concentrations of reactive compounds after the conservative transport problem has been solved numerically.

As a first step, this method was validated using analytical results. After that, the numerical model was used to simulate scenarios with different recharge rates including the influence of spatial and temporal variations. The results clearly support the phenomenon of downward diversion and decreased longitudinal extension of plumes due to these external stresses. The evaluation also suggests that the percentage reduction in plume lengths with respect to analytical results as obtained from Liedl et al. (2011) is directly proportional to aquifer thickness and recharge rate. For this purpose, sensitivity analyses as shown in the figure were carried out and evaluated.

Additionally, it was found that spatial and temporal variations of recharge rates do not have a significant effect on plume lengths as opposed to the influence of averaged recharge rate. An empirical equation as provided below, was also proposed in line with Maier & Grathwohl (2006):

$$L_{max}=1.841*(M^{1.889}/\alpha_{tv}^{0.896})*(\gamma*C_{ED}/C_{EA})^{0.458}$$

This result can be satisfactorily used to calculate plume lengths depending on the effect of average recharge rates valid in Germany. For the future it is planned to deal with more complex scenarios, e.g. non-homogeneous aquifers, partially penetrating contamination sources and other external stresses like pumping activities.

References

Liedl, R., Yadav, P. K., Dietrich, P. (2011): Length of 3-d mixing-controlled plumes for a fully penetrating contaminant source with finite width. Water Resour. Res., 41 (12), w12501.

Maier, U., Grathwohl, P. (2006): Numerical experiments and field results on the size of steady state plumes. J. Contam. Hydrol., 85(1-2), 33–52.

Yadav, P. K., Liedl, R., Dietrich, P. (2013): Influence of source thickness on steady-state plume length. Environ. Earth Sci., 1–6.

P 13.3

Transport and fate of manufactured silver nanoparticles in saturated heterogeneous natural porous media

Yorck Adrian[1], Uwe Schneidewind[1], Tomás Manuel Fernandez-Steeger[1], Rafig Azzam[1]

[1] *Department of Engineering Geology and Hydrogeology, RWTH Aachen University*
Kontakt: schneidewind@lih.rwth-aachen.de

Nowadays a variety of nanoparticles is used in many products in daily life. Silver nanoparticles play an important role due to their antimicrobial properties. They are widely used in textiles and personal care products. Additionally, it has been shown that silver nanoparticles are to a large part removed from wastewater in waste water treatment plants and retained in sewage sludge, which is then used as fertilizer in agriculture (Maier, 2012). As such, the likelihood that nanoparticles enter soil and groundwater is increased. Several recent (Braun et al., 2015, El Badawy et al., 2013) studies have focused on the transport of silver nanoparticles with different

surface coatings. These studies used idealized column tests to investigate the behavior of silver nanoparticles on spherically shaped glass beads or quartz grains with and without surface coatings or examined the transport behavior of silver nanoparticles in saturated natural soils. However, although groundwater and spring water are the major sources of drinking-water in Germany, studies investigating the transport of silver nanoparticles in aquifer materials under realistic hydrochemical conditions are lacking.

To close this gap, we conducted several column experiments to study the breakthrough of silver nanoparticles in aquifer material. Each column was spiked with three pore volumes of a silver solution containing 60 mg Ag L^{-1} surfactant stabilized silver nanoparticles before eluted at different flow rates. As background ions different solutions consisting of $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$ at different ionic strength and artificial groundwater were chosen. The aquifer material was collected from a drilling of a monitoring well near Dormagen, NRW, Germany and consisted of heterogeneous particles with different shapes and grains with and without iron oxide and hydroxide coatings. It was dominated by quartz and albite, and contained about 1% of hematite as determined by X-ray diffractometry. Breakthrough of the silver nanoparticles was measured by ICP-MS and the nanoparticle size was determined using dynamic light scattering (DLS). Breakthrough curves were modeled using the numerical transport model HYDRUS-1D. Initial results show a high breakthrough at low ionic strength for monovalent ions compared to divalent ions with the same ionic strength or artificial groundwater. No breakthrough was observed for high ionic strength for monovalent and divalent cations at different flow rates. Our initial findings show that silver nanoparticles can be retained due to chemical and physical heterogeneities to a low extend.

References

Braun, A.; E., K., Azzam, R., Neukum, C. (2015): Transport and deposition of stabilized engineered silver nanoparticles in water saturated loamy sand and silty loam, Science of the Total Environment, 535, 102-112.

Maier, M., Letzel, M., Wegenke, M. (2012): Verhalten von Nanopartikeln in Kläranlagen, Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie, 18, 62-65.

El Badawy, A. M.; Hassan, A. A.; Scheckel, K. G.; Suidan, M. T., Tolaymat, T. M. (2013): Key Factors Controlling the Transport of Silver Nanoparticles in Porous Media, Environmental Science & Technology, 47, 4037-4045.

P 13.4

Was haben komplexe Zahlen in der Hydrogeologie zu suchen?

Adalbert Huss[1]

[1] *HPC AG*

Kontakt: Adalbert.Huss@hpc.ag

In unserem Alltag verwenden wir reelle Zahlen. Diese sind durch einen einzigen Wert bestimmt. Neben diesen gibt es aber auch Zahlen, welche durch zwei Werte definiert sind, die sogenannten komplexen Zahlen.

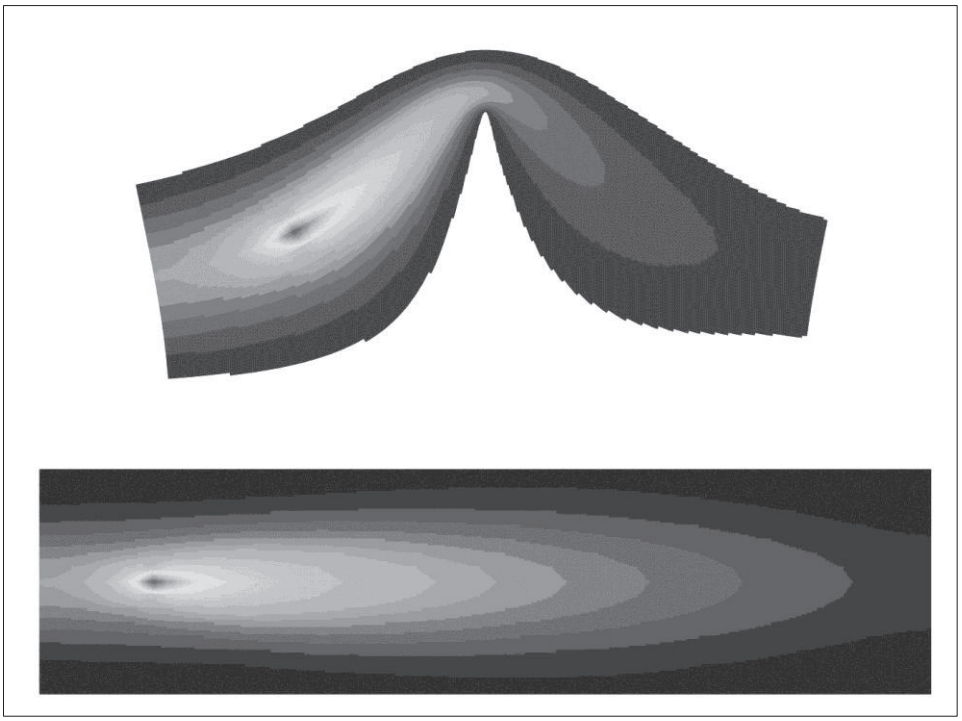


Abb. 1: Linearisierung komplexer Strömungsfelder

Genau wie bei den reellen Zahlen können auch auf der Menge dieser komplexen Zahlen Funktionen definiert werden, welche ein Element auf ein anderes abbilden. Eine spezielle Klasse unter diesen Funktionen bilden die „konformen Abbildungen“. Diese vereinigen zwei Eigenschaften in vorteilhafter Weise: sie sind winkeltreu, das heißt der Winkel zwischen zwei Linien des Urbilds bleibt in der Abbildung erhalten, und sie erlauben, Gebiete der komplexen Zahlenebene, welche abgebildet werden sollen, nahezu beliebig vorzugeben.

In der Physik werden konforme Abbildungen seit langem geschätzt, weil eine Funktion, welche von einem Potenzial hergeleitet werden kann, diese Eigenschaft in einer konformen Abbildung beibehält. Die besondere Bedeutung konformer Abbildungen liegt hierbei in der Möglichkeit zur „Linearisierung“ verzerrter Strukturen unter Beibehaltung der rechtwinkligen Beziehung zwischen Potenzialfeld und den Fluss- oder Stromlinien. So können komplizierte Strukturen wie z. B. die Umströmung einer Barriere auf ein einfaches Rechteck abgebildet werden, dessen analytische Handhabung wesentlich einfacher ist, als die des krummlinigen Urbilds.

In der Hydrogeologie sind konforme Abbildungen hingegen ein bislang kaum bekanntes, aber für die Behandlung zahlreicher Potentialprobleme außerordentlich nützliches Werkzeug. Anwendungsfälle ergeben sich insbesondere dort, wo das Grundwasserströmungsfeld in die weitere Auswertung eingeht, wie zum Beispiel bei der Auswertung integraler Pumpversuche oder bei der Modellierung des Schadstofftransports. Gerade im letztgenannten Bereich, der

Strömungstransportmodellierung, kann die Anwendung konformer Abbildungen dazu beitragen, die mit der Diskretisierung verbundenen Nachteile (Oszillationen, numerische Dispersion, Fehleranisotropie) erheblich zu reduzieren oder sogar gänzlich zu vermeiden.

Der Beitrag wird – nach einer kurzen theoretischen Einführung – die praktische Bedeutung konformer Abbildungen in einer Reihe von Beispielen demonstrieren und dadurch – so die Hoffnung – Interesse für die weitere Umsetzung dieses überraschend wirkungsvollen methodischen Ansatzes in der Hydrogeologie wecken.

Literatur

Betz, A. (1964): Konforme Abbildung, Springer Softcover reprint of the original 2nd ed., 2012

Discroll T. A., Trefethen, L.N. (2002): Schwarz-Christoffel Mapping; Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics; Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 132

Ivanov , V. I., Trubetskov , M. K. (1994): Handbook of Conformal Mapping with Computer-Aided Visualization; Taylor & Francis Group , 1994. hardcover. New. pp. 368

P 13.5

Grundwassermodellbasierte Unterstützung der Wasserwirtschaftsverwaltung bei der Bearbeitung der PFC-Problematik im Raum Rastatt / Baden-Baden

Thomas Gudera[1], Manfred Flittner[2], Reiner Söhlmann[2], Rudolf-Karl Teichmann[3], Dr. Gabriel Striegel[4], Dr. Ulrich Lang[5], Armin Durach[5], Dr. Michael Reinhard[6]

[1] *LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz BW*
[2] *Landratsamt Rastatt*
[3] *Stadt Baden-Baden*
[4] *Regierungspräsidium Karlsruhe*
[5] *Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH*
[6] *ARCADIS Deutschland GmbH*
Kontakt: thomas.gudera@lubw.bwl.de

In Baden-Württemberg werden über 70 % des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser gewonnen. Dieser Anteil ist im Oberrheingebiet noch deutlich höher, da der Oberrheingraben eines der größten und ergiebigsten Grundwasservorkommen in Europa enthält, welches aufgrund dichter Besiedelung und klimatischer Gunst vielfältig und intensiv genutzt und entsprechend beeinflusst wird. Zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung dieses Grundwasservorkommens werden seit vielen Jahren langfristig angelegte Beobachtungen von Grundwasserstand und –beschaffenheit sowie großräumige und länderübergreifende Grundwassermodellierungen durchgeführt.

Vor etwa drei Jahren wurde im Raum Rastatt / Baden-Baden eine weiträumige Verunreinigung des Grundwassers mit PFC bekannt, welche auf Grund ihrer Komplexität und der Betroffenheit unterschiedlichster Nutzer des quartären Grundwassers eine einheitliche und ganzheitliche

Lösung erforderte. Aus diesem Grund wurde die LUBW vom Umweltministerium beauftragt, ausgehend vom vorliegenden großräumigen Grundwassermodell, eine detaillierte Modellierung der relevanten Transportprozesse durchzuführen, um damit die Verwaltungsbehörden zu unterstützen.

Dazu wurde das großräumige Grundwasserströmungsmodell zunächst im Raum Rastatt / Baden-Baden einer detaillierten Modellkalibrierung unterzogen. Der Simulationszeitraum des instationären Modells wurde zudem von 2009 bis Ende 2014 erweitert, um auch die aktuelle Grundwasserentnahmesituation im Modell abzubilden.

Auf dieser Grundlage wurde ein hochaufgelöstes Detailmodell mit einer horizontalen Diskretisierung von bis zu 10x10 m sowie einer vertikalen Unterteilung in 12 Modellschichten aufgebaut (siehe Lang et al. 2016). Die im großräumigen Modell angepassten Durchlässigkeitsverteilungen und Leakagekoeffizienten für das Gewässernetz wurden auf das Detailmodell übertragen. Das Grundwassermodell wird seit Jahresmitte 2015 eingesetzt, um den Verwaltungsbehörden Hilfestellungen bei anstehenden Einzelfragestellungen zu geben.

Auch bei den zukünftigen Aufgaben im Rahmen von Detailuntersuchungen oder der Sanierungsplanung mit Variantenabwägungen wird das numerische Grundwassermodell eingesetzt werden. Gleichzeitig wird die Datengrundlage und damit auch die Basis der Modellkalibrierung in Zukunft weiter anwachsen, so dass eine ständige Verbesserung der Prognosefähigkeit des Detailmodells erfolgt.

Für das großräumige Modell als Basis der Detailmodellierung ist sicherzustellen, dass die im Detailmodell angepassten Parameter und Randbedingungen dorthin zurückfließen.

14 Urbane Hydrogeologie

Vorträge

O 14.1: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 13:45-14:00

Ein voll gekoppeltes numerisches Modell zur Quantifizierung von Leckage aus defekten Rohrleitungen

Aaron Peche[1], Lothar Fuchs[2], Peter Spönemann[2], Thomas Graf[1], Insa Neuweiler[1]

[1] *Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen, Uni Hannover*

[2] *itwh GmbH*

Kontakt: peche@hydromech.uni-hannover.de

Leckage aus undichten Rohrleitungssystemen in das umliegenden poröse Medium bietet neben erhöhter Auslastung der Infrastruktur ein erhebliches Schadenspotential für Boden, Oberflächen- und Grundwasser (Dohmann et al., 1999) und damit eine Gefährdung für Mensch und Umwelt. Über Defekte in oftmals veralteten Rohrleitungen kann ein sukzessiver Schadstoffeintrag in Boden und Grundwasser erfolgen. Sanierungsmaßnahmen sind oftmals langwierig, kostspielig oder nicht möglich. Aufgrund der erschwerten Zugänglichkeit defekter Rohrleitungen im Untergrund sind direkte Messungen von Leckageraten nur unter hohem Aufwand möglich und werden mit einem hohen Unsicherheitsgrad assoziiert (Wolf, 2006).

Mathematische Modelle bieten hier eine Alternative zur Abschätzung von Leckage und Schadstoffeintrag. Der gegenwärtige Stand der Forschung bietet eine Vielzahl an Modellansätzen, wobei für Ansätze auf Einzugsgebiets-Skala meist parametrisierte Funktionen zur Approximierung von Leckageraten genutzt werden (z.B. Karpf, 2012).

In diesem Zusammenhang stellen wir ein voll gekoppeltes numerisches Modell zur dynamischen Quantifizierung von Leckage aus defekten Rohrleitungen vor. Fluideigenschaften, Defektform und –größe, Geometrie und hydraulische Eigenschaften der Kolmationsschicht und des umgebenden ungesättigten porösen Mediums werden gegeben, während die Potentialverteilung, sowie die Sättigung im porösen Medium zeitlich dynamisch berechnet wird. Grundlage der Berechnungen sind die numerischen Modelle HYSTEM-EXTRAN (itwh, 2002) und OpenGeoSys (Kolditz et al., 2012). Beide Modelle wurden über die Leckageraten gekoppelt und anhand von physikalischen Experimenten validiert.

Literatur

Dohmann, M. (Hrsg.) (1999): Wassergefährdung durch undichte Kanäle. Springer Verlag Berlin Heidelberg.

itwh (2002): Modellbeschreibung, Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, Hannover.

Karpf, C. (2012): Modellierung der Interaktion zwischen Grundwasser und Kanalisation. Dissertation, Universität Dresden.

Kolditz, O., Bauer, S. et al. (2012): OpenGeoSys: an open source initiative for numerical simulation of thermo-hydro-mechanical/chemical (THM/C) processes in porous media. Env. Earth Sci. 67(2):589-599.

Wolf, L. (2006): Influence of leaky sewer systems on groundwater resources beneath the City of Rastatt, Germany, Dissertation, Universität Karlsruhe.

O 14.2: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 14:00-14:15

Uferfiltration – Säulenversuche zur Reinigungsleistung der hyporheischen Zone hinsichtlich organischer Spurenstoffe

Victoria Burke[1], Janek Greskowiak[1], Gudrun Massmann[1]

[1] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Kontakt: victoria.burke@uni-oldenburg.de

Als Instrument der künstlichen Grundwasseranreicherung ist der Prozess der Uferfiltration hinsichtlich der Wasserversorgung in urbanen Ballungsräumen von großer Bedeutung. Neben dem quantitativen Aspekt der Reservoiranreicherung sind Uferfiltrationsprozesse auch hinsichtlich der Grundwasserqualität äußerst relevant. Eine Vielzahl veröffentlichter Studien konnte bereits nachweisen, dass zahlreiche physikalische und chemische Reinigungsprozesse während der Untergrundpassage zu einer signifikanten Qualitätsverbesserung des Uferfiltrats führen (z.B. Hiscock & Grischek, 2002).

Die hyporheische Zone fungiert als Schnittstelle zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser und gilt als hochreaktiv hinsichtlich der Eliminierung von anthropogenen Verunreinigungen (z.B. Jüttner, 1999). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Laborversuche durchgeführt, um die Reinigungsleistung der hyporheischen Zone hinsichtlich abwasserbürtiger, organischer Spurenstoffe quantitativ zu untersuchen. Dazu wurden drei ungestörte Sedimentkerne an unterschiedlichen, intensiv genutzten Uferfiltrationsstandorten entnommen und unter Laborbedingungen mit natürlichem Oberflächenwasser vom jeweiligen Standort betrieben. Nach einer Konditionierungsphase von mehreren Monaten erfolgten tiefenorientierte Probenahmen, um anhand von Tiefenprofilen Aussagen über das Verhalten der Zielsubstanzen entlang des Fließpfades treffen zu können. Untersucht wurden eine Reihe pharmazeutischer Wirkstoffe und Metabolite, darunter Antiepileptika, Antihypertensiva und Analgesika, die in der Vergangenheit wiederholt im Oberflächenwasser der Untersuchungsstandorte nachgewiesen wurden.

Während für einige der untersuchten Substanzen keine oder nur geringe Konzentrationsminderungen entlang des Fließweges beobachtet wurden (z.B. Carbamazepin, Candesartan), zeigten andere eine deutliche Verringerung der Ausgangskonzentration (z.B. Acesulfam, Metoprolol). Diese sind sowohl auf auf mikrobiellen Abbau als auch Sorptionsprozesse zurückzuführen. Weiterhin konnten standortspezifische Unterschiede im (Abbau)verhalten der Zielsubstanzen

beobachtet werden, die der chemischen und physikalischen Variabilität der einzelnen Sedimente zugeordnet werden.

Insgesamt unterstreichen die aufgenommenen Daten die Relevanz der hyporheischen Zone im Rahmen der natürlichen Aufbereitung abwasserbeinflussten Oberflächenwassers im System des halbgeschlossenen Wasserkreislaufes. Weiterführend soll eine hydrochemische Modellierung auf Basis der erhobenen Daten dazu beitragen, Schlüsselparameter für den Abbau organischer Spurenstoffe zu identifizieren.

Literatur

Hiscock, KM.; Grischek, T., (2002): Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. Journal of Hydrology, 266: 139-144.

Jüttner, F., (1999): Efficacy of bank filtration for the removal of fragrance compounds and aromatic hydrocarbons. Water Science and Technology, 40: 123-128.

O 14.3: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 14:15-14:30

Die Bedeutung regionaler Betrachtungsweisen für das Verständnis urbaner Grundwassersysteme und lokaler Interaktionsprozesse

Jannis Epting[1], Peter Huggenberger[1]

[1] *Angewandte und Umweltgeologie, Universität Basel*
Kontakt: jannis.epting@unibas.ch

Ein nachhaltiger Schutz urbaner Grundwasserressourcen erfordert ein umfassendes Verständnis der lokalen und regionalen, quantitativen und qualitativen sowie geologischen und hydrogeologischen Zusammenhänge. Aufgrund von Nutzungskonflikten im Zusammenhang mit dem Grundwasser- und Trinkwasserschutz konzentriert sich die Forschung stark auf Untersuchungen von lokalen Interaktionsprozessen zwischen Fliessgewässern und dem Grundwasser. Die Dynamik regionaler Grundwasserfliessregime, welche einen starken Einfluss auf die räumliche Verteilung der Austauschraten zwischen Grundwasserkörpern und den Fliessgewässern haben, wird dabei oft vernachlässigt.

Am Beispiel von verschiedenen Forschungsprojekten in der Region Basel (Schweiz) wird die Relevanz von regionalen Grundwasserfliessregimen aufgezeigt. Aufgrund der geologischen Gegebenheiten (Falten- und Tafeljura) werden Grundwasserkörper häufig durch Felsstufen getrennt. Dadurch entsteht eine komplexe Abfolge von Flussabschnitten, in denen entweder Grundwasser-exfiltrierende oder Flusswasser-infiltrierende Prozesse dominieren. Der zeitlich und räumlich instationäre Charakter der Interaktionsprozesse kann sich während Hochwasserereignissen entlang der Flussabschnitte verschieben, wobei nicht zwangsläufig vermehrt Flusswasser infiltriert, sondern regionale Prozesse der Druckübertragung und Grundwasserexfiltration dominieren können. Auch kann die Interaktion mit Karst- und Kluftsystemen,

insbesondere in den Schottergrundwasserleitern im Bereich des Falten- und Tafeljuras, die Qualität des Grundwassers wesentlich beeinflussen.

Ein erweitertes Verständnis über die regionalen und lokalen Grundwasserverhältnisse liefert Grundlagen bei der Lösungsfindung von Nutzungskonflikten und für eine Festlegung von lang- mittel- und kurzfristigen Zielen hinsichtlich der regionalen Bewirtschaftung von Wasserressourcen.

Literatur

Epting, J., Huggenberger, P., Dresmann, H., Wiesmeier, S., Zea, M., Auckenthaler, A. (2015): Analyse von Grundwasserkörpern mit GIS. GIS-Tool GSIA - Basis für das Prozessverständnis der Interaktion von Grundwassersystemen. AQUA & GAS No 7/8, p. 72-79.

O 14.4: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 14:30-14:45

Quantifying the influence of subsurface constructions on groundwater temperature – underground and suburban railway tunnel, subterranean garage and cellar

Gabriella Zsófia Somogyi[1], Kai Zosseder[1]

[1] *Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München*
Kontakt: gabriella.somogyi@tum.de

The groundwater temperature field beneath urban areas is significantly different from that of the surrounding rural areas. Possible reasons for the anomalous groundwater temperatures include climatic forcing, changes in surface cover, variations in thermal conductivity of soil as well as groundwater use. Additionally the extension of subsurface infrastructures and the diffuse heat input of buildings can affect elevated groundwater temperatures in the urban areas (Menberg et al. 2013). Hot spots of up to 6 K above the average rural groundwater temperature were observed in Munich. Such significant temperature changes clearly impact the groundwater quality because of changes to subsurface biogeochemical reactions. On the other hand, the additional heat to the subsurface may also have an impact on shallow geothermal energy resource. An increase of up to 3 K in groundwater temperature can produce a remarkable improvement both in the output and efficiency of a shallow geothermal system (Allen et al. 2003). The concept of this investigation is based on (1) the characterization of the present thermal state of the groundwater body of Munich, and (2) the evaluation of the individual role of the driving factors that stimulate warming of urban aquifers. Our main interests are to clarify the thermal influence of every relevant subterranean construction on the spatial and temporal groundwater temperature distribution in Munich and to calculate the total heat flow from the constructions to the aquifer which can be utilized to generate low enthalpy geothermal energy. The investigations focus on the effects of various (i) groundwater flow velocities, (ii) heating rates, and (iii) groundwater table depths below buildings on the heat input of buildings to the aquifer. In this study the thermal influence of subsurface constructions on the urban

groundwater body of Munich was examined through (1) laboratory-heat-flow-tank-experiments, (2) 3-D numerical groundwater flow and heat transport modeling and scenario development, as well as (3) deep oriented groundwater temperature monitoring to determine the magnitude, extent and timing of development of associated subsurface temperature anomalies. The results of this study are used to generate suitable numerical groundwater models of Munich city and thus to offer an extensive groundwater management concept for the sustainable thermal use of an urban groundwater system.

References

Allen, A., Milenic, D. & Sikora, P. (2003): Shallow gravel aquifers and the urban 'heat island' effect: a source of low enthalpy geothermal energy. - Geothermics, 32(4-6): 569-578.

Menberg, K., Bayer, P., Zosseder, K., Rumohr, S. & Blum, P. (2013): Subsurface urban heat islands in German cities. - Science of the Total Environment, 442: 123-133.

O 14.5: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 14:45-15:00

Satellitengestützte Fernerkundung urbaner Wärmeinseln im Grundwasser

Susanne Benz[1], Peter Bayer[2], Frank-M. Goettsche[3], Folke S. Olesen[3], Philipp Blum[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, KIT – Karlsruher Institut für Technologie*

[2] *Geologisches Institut, ETH Zürich*

[3] *Institut für Meteorologie und Klima, KIT – Karlsruher Institut für Technologie*

Kontakt: susanne.benz@kit.edu

Temperaturen im urbanen Raum sind im Vergleich zu ihrer ländlichen Umgebung erhöht. Dieses Phänomen wird als urbane Wärmeinsel bezeichnet und wird sowohl in der Atmosphäre, an der Oberfläche als auch im Untergrund von Städten angetroffen. Ziel dieser Arbeit ist es, den Zusammenhang zwischen urbaner Wärmeinsel an der Oberfläche und im Grundwasser zu analysieren und eine Methode zu entwickeln, die es ermöglicht, urbane Grundwassertemperaturen (GWT) anhand satellitengestützter Fernerkundung abzuschätzen. Zunächst wurden jährliche mittlere aus Satellitendaten bestimmte Land-Oberflächen-Temperaturen (LST) und interpolierte Grundwassertemperaturen in Berlin, München, Köln und Karlsruhe gerastert und ihre Unterschiede analysiert, um das Zusammenspiel zwischen urbaner Wärmeinsel unter und oberhalb der Erdoberfläche besser zu verstehen. Die besten Korrelationen von über 0,8 wurden in Köln und Berlin gefunden. Aufgrund der Größe und des Alters dieser Städte sowie der relativ großen Messtiefe der Grundwassertemperaturen von mehr als 15 m kann das thermische Grundwasserregime als quasi-stationär betrachtet werden. Saisonale Temperaturänderungen zeigen keinen großen Einfluss mehr. In Karlsruhe, der jüngsten und kleinsten Stadt mit einem Flurabstand von lediglich 5 m liegt die Korrelation zwischen Grundwasser- und Oberflächentemperatur immer noch über 0,5. Im absoluten Vergleich der Temperaturen zeigt sich, dass die Grundwassertemperatur im Gegensatz zur Oberflächentemperatur unter dicht bebauten Flächen und Industriegebieten lokale Maxima aufzeigt. Überhaupt ist die Grundwassertemperatur in 95 % der analysierten Fläche höher als die mittlere LST. Dies bestätigt den Einfluss

unterirdischer anthropogener Wärmequellen wie z. B. Gebäudekeller. Aus diesem Grund wurde eine Methode entwickelt, die Grundwassertemperaturen nicht nur anhand von LST abschätzt, sondern auch Bebauungsdichte und Kellertemperatur beachtet. Die Anwendung an den hier untersuchten Städten zeigt, dass mit dieser Methode Grundwassertemperaturen auf ±0.9 °C genau abgeschätzt werden können. Da sowohl Oberflächentemperatur als auch Bebauungsdichte durch Fernerkundung ermittelt werden, ermöglicht die entwickelte Methode eine großflächige Abschätzung urbaner Grundwassertemperaturen und bietet somit auch einen ersten, nicht-invasiven Einblick in das regionale geothermische Potential dieser urbanen Grundwasserleiter.

O 14.6: Audimax B, Geb. 30.95, 15.04.2016, 15:00-15:15

Isomap – Ein datenanalytischer Ansatz zur Identifikation gekoppelter unter- und oberirdischer Fließprozesse

Christoph Merz[1], Gunnar Lischeid[1], Steven Böttcher[1]

[1] *Institut für Landschaftswasserhaushalt, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung*
Kontakt: cmerz@zalf.de

Intensive Trinkwasserentnahmen und klimatische Veränderungen zählen vielerorts zu den Hauptgründen für sinkende Grundwasserstände und zurückgehende Abflüsse von Oberflächengewässern. Insbesondere in urbanen und peri-urbanen Räumen folgt daraus ein hohes Potenzial an Nutzungskonflikten. Wassermanagementkonzepte sind oft nicht an diese Herausforderungen angepasst. Es fehlt an validen Methoden, um das Wechselspiel zwischen den teilweise komplexen hydrogeologischen Untergrundeigenschaften und den Auswirkungen anthropogener Nutzung hinreichend identifizieren und steuern zu können. Notwendigerweise sind hierfür die relevanten prozessbasierten hydraulischen Steuergrößen zu identifizieren und in ihrer oft nicht-linearen, differenzierten Wirkung bzw. Rückkopplung zu beurteilen. Die hierfür notwendigen hydraulischen Modelle sind vorhanden und intensiv genutzt. Es fehlt allerdings an ausreichend fundierter Datengrundlage, um die Modelle entsprechend ihrer Zielstellung parametrisieren zu können. Ein notwendiges Anliegen ist daher die verbesserte Identifikation und qualitative Charakterisierung der hydraulischen Verhältnisse im Untergrund intensiv genutzter Standorte. Im Rahmen des Vortrages möchten wir einen methodischen Ansatz vorstellen, der auf Grundlage standardisiert erfasster Grund- und Oberflächenwasserganglinien mit neuen Methoden der multivariaten Datenauswertung eine verbesserte Identifizierung hydraulisch/hydrologischen Prozesse sowie Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen unter komplexen hydrogeologischen Bedingungen ermöglicht.

Der Ansatz beschreibt einen systematischen Weg zur Extraktion der in den Daten enthaltenen Information anhand einer nicht-linearen Dimensions-Reduktions-Methode, dem „Isometric Feature Mapping“ (Isomap). Das Verfahren wurde exemplarisch auf Grundwasser- und Seewasserstandszeitreihen in einem intensiv genutzten Einzugsgebiet im periurbanen Bereich

NE Berlins angewandt. Im Ergebnis beschreiben zwei Faktoren 95% der Varianz der Grundwasserdynamik: (1) den mit dem Abstand abnehmenden Einfluss eines Wasserwerks und (2) der räumlich differenzierte Einfluss der Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet. Im Ergebnis konnten zuvor unbekannte hydraulische Verbindungen zwischen Grundwasserstockwerken sowie zwischen der Wasserfassung und naheliegenden Seen identifiziert werden. Die Methode ermöglicht somit eine unabhängige Validierung der hydrogeologischen Modellvorstellung als Grundlage einer verbesserten hydraulischen Modellierung und eines angepassten Wassermanagements.

Literatur

Böttcher, S., Merz, C., Lischeid, G., Dannowski, R. (2014): Using Isomap to differentiate between anthropogenic and natural effects on groundwater dynamics in a complex geological setting. - Journal of Hydrology 519, Part B, 1634-1641.

Poster

P 14.1

Bodenluftabsaugtest zur Bestimmung der pneumatischen Permeabilität der ungesättigten Bodenzone

Johannes Kloth[1], Thomas Schulze, Uwe Schinzel, Maria-Theresia Schafmeister

[1] *GeoConsult Hamburg GbR*
Kontakt: Thomas.Schulze@GeoConsult-Hamburg.de

Auf dem ehemaligen Standort einer Maschinenfabrik im Hamburg wurden Kontaminationen mit LCKW in der Bodenluft sowie im Grundwasser festgestellt. Die Belastungen wurden in beiden Medien eingegrenzt und Sanierungsuntersuchungen durchgeführt. Die Behörde für Umwelt und Energie (BUE) der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) hat 2013 die Sanierung der Eintragsbereiche in der tieferen, ungesättigten Bodenzone mittels kalter Bodenluftabsaugung veranlasst. In der oberflächennahen (bis ca. 1,5 m u. GOK) ungesättigten Bodenzone konnten auf Grund von zwischenzeitlich ausgeführten Neubaumaßnahmen keine Quellbereiche mehr ausgewiesen werden. In einer tieferen (zwischen ca. 12 m und 16 m u.GOK) ungesättigten Bodenzone, die durch einen ca. 8 m mächtigen Geschiebemergel abgedeckt ist, waren jedoch Konzentrationen von mehr als 4.000 mg/m³ Σ LCKW enthalten. Im tieferen Bodenlufthorizont liegen, bedingt durch die mächtigen Deckschichten, „gespannte„ pneumatische Verhältnisse vor. Zudem setzen sich die Änderungen des atmosphärischen Luftdruckes – vergleichbar mit tidebeeinflussten Grundwasserleitern – zeitverzögert fort. Die besondere geologische Situation erlaubte eine außergewöhnlich hohe Effizienz der Absaugung (Wirkungsradius mehr als 70 m im Umkreis des Sanierungspegels, Unterdruck von nahezu 100 mbar im Sanierungspegel). Im Rahmen der Inbetriebnahme erfolgte ein pneumatischer

Pumptest. Die pneumatische Auswertung des Pumptestes wurde auf Basis der allgemeinen Brunnenfunktion nach Theis (1935) vorgenommen.

Literatur

Baehr, A. L.; Hult, M. F. (1991): Evaluation of unsaturated zone air permeability through pneumatic tests. In: Water Resour. Res. 27, S. 2605–2617.

Edwards, K.B.; Iyer, R. S. (1994): Modeling venting tests in alluvial sands. In: Ground water management 18, S. 71-78.

Falta, R. W. (1996): A program for analyzing transient and steady-state soil gas pump tests. Ground water 34 (4), S. 750–755.

Hantush, M. S. (1964): Hydraulics of wells. Adv. Hydrosci., 1, S. 281-432, New York: Academic Press.

ITVA (2002): Richtlinie H1-1, Richtlinie Bodenluftabsaugversuch.

Theis, C.V. (1935): The relation between the lowering oft he piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. American Geophysical Union Transactions 16, S. 519-524, Washington, D.C.

P 14.2

Ein stochastischer Ansatz für Transportprozesse in einem Kanalsystem

Robert Sämann[1], Thomas Graf[1], Insa Neuweiler[1]

[1] *Institut für Strömungsmechanik, Leibniz Universität Hannover*
Kontakt: saemann@hydromech.uni-hannover.de

Die Abwassersysteme in Großstädten leiten Abwässer in Kläranlagen und Regenwasser zum Teil direkt in Oberflächengewässer ab. Da das Kanalsystem viele Zuflüsse aufweist, ist es anfällig für den Eintrag von Schadstoffen. Bei Starkregenereignissen kann Kanalwasser an Schächten sowohl in den Untergrund als auch an die Oberfläche gelangen (Fuchs, 2013), was zu einer potentiellen Gefährdung durch Schadstoffe führt.

Im Falle einer Havarie (z.B. Tanklaster-Leckage) wird eine möglichst schnelle Vorhersage der möglichen Fließwege und einer Verteilung der Stoffe gebraucht. Numerische Schemata zur Modellierung des Schadstofftransports sind nötig, um von der Ursache auf die Folgen zu schließen und mögliche Gegenmaßnahmen zum Schutze der Umwelt einzuleiten.

Solche Schemata müssen schnell und effizient sein. Daher werden 2D und 3D Transportprozesse in einem Rohr oder Kanalabschnitt auf eine eindimensionale Betrachtung reduziert. Dennoch soll der Transport und die Vermischung der Stoffe, besonders unter zeitlich stark veränderlichen Bedingungen, so realistisch wie möglich reproduziert werden, um zum Beispiel Spitzenkonzentrationen gut abschätzen zu können.

In diesem Beitrag wird ein Partikelmodell für den Transport in einem Rohrnetzwerk vor. Die Berechnung der Transportgeschwindigkeit erfolgt anhand der Füllstände, Geometrie und Lage der Rohre. Die Variabilität wird mit einem stochastischem Ansatz (Chiu et al., 2006) abgebildet. Eine Vielzahl von Partikeln repräsentiert dabei die Bandbreite der auftretenden Geschwindigkeiten im Rohrnetzwerk. Somit wird der Transport nicht in einem diskreten Gitter

aufgelöst, sondern für jedes Partikel als kontinuierlich betrachtet. Hierdurch ist eine Adaption der räumlichen und zeitlichen Schrittweiten möglich. Zudem dienen die Partikel der genauen Kopplung mit Oberflächenabfluss- und Rohr-Leckage-Modellen.

Um künftig ein gekoppeltes Strömungs- und Transportmodell für eine Stadt von mehr als 500.000 Einwohnern anwenden zu können, werde die möglichen Werte der Geschwindigkeit im Vorfeld berechnet und in Umsetzungstabellen abgelegt (Austin et al., 2014).

Literatur

Fuchs, L. (2013): Gefährdungsanalyse zur Überflutungsvorsorge kommunaler Entwässerungssysteme. Sanierung und Anpassung von Entwässerungssystemen–Alternde Infrastruktur und Klimawandel, Österreichischer Wasser-und Abfallwirtschaftsverband, Wien, ISBN, 978-3.

Chiu, C. L., Hsu, S. M. (2006): Probabilistic approach to modeling of velocity distributions in fluid flows. Journal of Hydrology, 316(1), 28-42.

Austin, R. J., Chen, A. S., Savić, D. A., Djordjević, S. (2014): Quick and accurate Cellular Automata sewer simulator. Journal of Hydroinformatics, 16(6), 1359-1374.

P 14.3

Grundwasserverunreinigungen durch polyfluorierte Substanzen in Hamburg

Irmgard von Kalben[1], Christian Gillbricht[2], Thomas Schulze[3]

[1] *Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Umwelt und Energie*

[2] *Hydrogeologisches Büro Christian A. Gillbricht*

[3] *GeoConsult Hamburg GbR, Dipl.-Geol. Schulze & Dr. Schinzel*

Kontakt: cagsoft@cagsoft.com

In den letzten 10 Jahren haben polyfluorierte und perfluorierte Chemikalien (PFC), insbesondere perfluorierte Tenside (PFT) eine erhebliche Aufmerksamkeit bei den zuständigen Aufsichtsbehörden gefunden. Waren die ersten Nachweise von erhöhten Konzentrationen in Umweltmedien eher zufällig, so findet jetzt zunehmend eine systematische Erhebung von Verdachtsbereichen statt (z. B. Ahrenholz et al., 2011; LUWG RHPF, 2013). Die Behörde für Umwelt und Energie (BUE) der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) hat 2014 / 2015 in einer orientierenden Studie für das Staatsgebiet der FHH mögliche Einträge von PFC in das Grundwasser untersucht. In diesem Zusammenhang wurden erste Grundwasseruntersuchungen veranlasst. Die Übungsflächen der Feuerwehren weisen teilweise erhebliche Belastungen des Bodens und des oberflächennahen Grundwassers auf. Im Grundwasser wurden bis zu 400 µg/l (Summe PFC) nachgewiesen. Weitergehende Untersuchungen zur Abgrenzung der Verunreinigungen werden zurzeit durchgeführt. Im Bereich eines Großbrandes mit Einsatz von Schaumlöschmitteln sind lokale Verunreinigungen des oberflächennahen Grundwassers mit bis zu ca. 6 µg/l (Summe PFC) nachgewiesen worden. Die Fläche wird regelmäßig überwacht. Sanierungsbedürftige Schäden durch Löschmitteleinsätze sind im Stadtgebiet von Hamburg bisher nicht festgestellt worden. Allerdings stehen Untersuchungen an mehreren Löschorten noch aus. Im

Bereich von Altablagerungen wurden Spuren von PFC mit maximal 0,02 µg/l im oberflächennahen Grundwasser nachgewiesen. Es stehen allerdings Untersuchungen an weiteren Deponien aus, die im relevanten Zeitraum der 1960er bis 1980er Jahre betrieben wurden. Im Weiteren sollen auch einschlägig gewerblich genutzte Standorte betrachtet werden.

Literatur

Arenholz, U.; Bergmann, S.; Bosshammer, K.; Busch, D.; Dreher, K.; Eichler, W.; Geueke, K.-J.; Grubert, G.; Hähnle, J.; Harff, K.; Kraft, M.; Leisner-Saaber, J.; Oberdörfer, M.; Rauchfuss, K.; Respondek, R.; Reupert, R.; Rose-Luther, J.; Schroers, S.; Tiedt, M.; Just, P.; Poschner, A. & Susset, B. (2011): Verbreitung von PFT in der Umwelt. – LANUV Nordrhein-Westfalen Fachbericht, 34: 106 S.; Recklinghausen

LUWG RHPF (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz) (Hrsg.) (2013): Umweltrelevanz von PFT aus Sicht des Boden- , Oberflächengewässer- und Grundwasserschutzes. – ALEX-Informationsblatt, 29: 10 S.; Oppenheim.

P 14.4

Modeling subsidence due to groundwater withdrawal

Wolfram Rühaak[1], Pham Hung[2], Ingo Sass[2]

[1] *Darmstädter Exzellenz Graduiertenschule für Energiewissenschaft und Energietechnik, Technische Universität Darmstadt*

[2] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, Fachgebiet Angewandte Geothermie, Technische Universität Darmstadt*

Kontakt: ruehaak@geo.tu-darmstadt.de

Drawdown of the groundwater table due to extensive pumping can lead to land surface subsidence. At coastal locations drawdown can also result from a declining sea level. Especially in urban areas such a subsidence can have a severe impact (Zeitoun & Wakshal, 2013). Numerous groundwater flow and transport models are based on the software FEFLOW (Diersch 2014). Based on the so called Terzaghi (1943) approach a new software module has been developed which can be added to FEFLOW and which this way takes land subsidence due to groundwater drawdown into account. More advanced approaches like a full 3D mechanical coupling are also available (Rühaak et al., 2014). However, such an advanced approach is far more tedious while the simplified approach already can give sufficient results.

References

Diersch, H-J. (2014): Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer, Heidelberg Germany.

Rühaak, W., Bense, V.F., Sass, I. (2014): 3D hydro-mechanically coupled groundwater flow modelling of Pleistocene glaciation effects. Computers & Geosciences, 67: 89-99.

Terzaghi, K. (1943): Theoretical Soil Mechanics. John Wiley, New York.

Zeitoun, D.G., Wahshal, E. (2013): Land Subsidence Analysis in Urban Areas, Springer, Dordrecht.

P 14.5

Quantifizierungen von Grundwassereintritten in städtische Abwassersysteme mittels stabiler Isotope

J Penckwitt[1], R van Geldern[1], B Hagspiel[2], JAC Barth[1]

[1] GeoZentrum Nordbayern, Universität Erlangen-Nürnberg
[2] Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg
Kontakt: robert.van.geldern@fau.de

Das Eindringen von Grundwasser in Abwassersysteme verursacht erhöhte Betriebskosten für Klärwerksbetreiber. Diese Studie stellt eine Erkundung dieser Problematik für das Nürnberger Stadtgebiet vor. Dabei wurden die Unterschiede der stabilen Isotopenzusammensetzung verschiedener Wassertypen untersucht und Massenbilanzen zur Ermittlung von Mischungsverhältnissen angewandt. Die Verteilung von stabilen Isotopenverhältnissen wurde in Proben von Wasserwerken und Hochbehältern, sowie von Abwasserschächten und lokalem Grundwasser untersucht. Die untersuchten Wässer zeigten nur geringe Schwankungsbreiten um einen $\delta^{18}O_{H2O}$-Wert von (-9,5 ± 0,1)‰. Eine Ausnahme hiervon war das Wasser der Fernleitung aus dem 80 km südlich von Nürnberg gelegenen Wasserwerk Genderkingen, welches Trinkwasser aus Uferfiltrat des Lechs im Donaueinzugsgebiet gewinnt. Hier traten $\delta^{18}O_{H2O}$-Werte von -11,4‰ auf. Die Unterschiede von bis zu 1,5‰ zwischen Grund- und Kanalwasser konnten über Massenbilanzen maximal mögliche Einflüsse von bis zu 41% aufdecken. Weiterführende Untersuchungen mit Zugabe von deuteriertem Wasser in das Kanalsystem könnten für den vorgestellten Ansatz verbesserte Ergebnisse liefern.

P 14.6

Quantifizierung klimatisch bedingter Veränderungen der Grundwasserneubildung urbaner Gebiete am Beispiel des Stadtgebietes Dresden

Sabine Meißner[1], Volkmar Dunger[2], Jörg Matschullat[1]

[1] Interdisziplinäres ökologisches Zentrum (IÖZ), TU Bergakademie Freiberg
[2] Institut für Geologie, Lehrstuhl für Hydrogeologie, TU Bergakademie Freiberg
Kontakt: sabine.tesch@ioez.tu-freiberg.de

Bereits beobachtete und zukünftig zu erwartende klimatische Bedingungen beeinflussen in starkem Maße den natürlichen Wasserkreislauf und dadurch vor allem auch die Qualität und Quantität regionaler Wasserressourcen. Eine wichtige hydrologische Größe stellt dabei die Grundwasserneubildung dar. Angaben über die Menge an neu gebildetem Grundwasser sind wichtig für die Klärung der Fragestellung, ob die bestehenden Nutzungsansprüche auch noch

in Zukunft gewährleistet werden. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes REGKLAM („Entwicklung und Erprobung eines integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden“) wurden die Auswirkungen rezenter beobachteter und projizierter Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung für das Stadtgebiet von Dresden analysiert und bewertet. Die Modellierung der zeitlichen und räumlichen Variabilität der Grundwasserneubildung erfolgte flächendeckend und rasterbasiert unter Anwendung des quasizweidimensionalen und konzeptionellen Bodenwasserhaushaltsmodells BOWAM (DUNGER 2002). Für die Parametrisierung des Modells wurden räumlich differenzierte Eingangsdaten (Morphologie, Pedologie, Landnutzung, Versiegelungsgrad) verwendet. Die Modellrechnungen wurden für ein 100 m x 100 m Raster mit einer zeitlichen Diskretisierung von Tageswerten durchgeführt. Die Modellierung der Grundwasserneubildung erfolgte für verschiedene Zeitscheiben (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100) auf der Basis von Beobachtungsdaten und Klimaprojektionsdaten ausgewählter Niederschlags- und Klimastationen in täglicher Auflösung. Bei den verwendeten Klimaprojektionsdaten handelt es sich um Stationsdaten des statistischen Regionalklimamodells WETTREG2010 unter dem Emissionsszenario A1B. Aus einem Ensemble von zehn WETTREG-2010 Realisierungen wurden drei Läufe (Lauf 11, Lauf 55, Lauf 77) ausgewählt. Die Landnutzung wurde bei den Modellrechnungen nicht verändert.

Die mit WETTREG2010 Daten generierten Ergebnisse, geben die zeitliche und räumliche Variabilität der Grundwasserneubildung für den Referenzzeitraum (1961-1990) ganz gut wieder. Im 21. Jahrhundert kommt es zu einer starken Abnahme der Grundwasserneubildung. Diese Abnahme beträgt in der Mitte des 21. Jahrhunderts 30 bis 50 % und am Ende bis zu 70 %. Ein solcher starker Rückgang der Grundwasserneubildung kann auf eine höhere Verdunstung und sehr geringe Jahresniederschläge bei WETTREG 2010 vor allem gegen Ende des 21. Jahrhunderts zurückgeführt werden. Teilweise ist der simulierte Rückgang der Niederschläge in den Wintermonaten sogar ausgeprägter als in den Sommermonaten. Erfolgt keine Wiederauffüllung des Bodenwasservorrates im Winter, kommt es folglich zu einem drastischen Rückgang des Wasserdargebotes. Mit der Abnahme der Grundwasserneubildung muss auch in Zukunft mit erhöhten Grundwasserflurabständen gerechnet werden. Dies hat nicht nur negative Auswirkungen auf grundwasserabhängige Ökosysteme sondern auch auf die Bebauung und die Infrastruktur einer Stadt.

Literatur

Dunger, V. (2002): Dokumentation des Modells BOWAM zur Simulation des Wasserhaushaltes in der ungesättigten Bodenzone (Aerationszone). Nutzerhandbuch, Version 04/2002.

15 Forum Junge Hydrogeologen

Vorträge

O 15.1: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 12:45-13:00

Hydrochemische Entwicklung eines jungen Grundwasserreservoirs unter einer Barriereinsel – vom Niederschlag bis zum Grundwasseraustritt ins Meer

Stephan Seibert[1], Janek Greskowiak[1], Gudrun Massmann[1]

[1] *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, AG Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt*

Kontakt: stephan.seibert@uni-oldenburg.de

Die Wind und Flut exponierten Barriereinseln der Nordsee stellen hochenergetische Systeme dar, die durch schnell ablaufende morphodynamische Veränderungen gekennzeichnet sind. Diese Veränderungen beeinflussen sowohl die hochsensiblen Küstenökosysteme der Nordsee, die Genese der Böden, als auch die Ausbildung der Süßwasserreservoire, welche wiederum für die Inseltrinkwasserversorgung von besonderer Bedeutung sind. Diesbezüglich stellt die Ostplate im Osten Spiekeroogs ein einmaliges Untersuchunggebiet dar, da morphodynamische Prozesse hier in einem bekannten Zeifenster stattfanden und gut dokumentiert sind, was die Möglichkeit eröffnet, die Entwicklungsprozesse eines jungen Grundwasserreservoirs unter einer Barriereinsel nachzuvollziehen. In diesem Vortrag sollen Methodik und erste Ergebnisse aus einem Promotionsvorhaben vorgestellt werden, das die hydrochemische Entwicklung des Süßwassers unterhalb der Ostplate bei Spiekeroog von der Infiltration in den Boden bis zum submarinen Grundwasserabstrom näher untersuchen wird. Von besonderem Forschungsinteresse sind dabei die hydrochemische Dynamik in der ungesättigten Zone, die durch witterungs- und überflutungsbedingte Variabilität gekennzeichnet ist, sowie die hydrochemische Genese des Grundwassers entlang der Fließpfade in der gesättigten Zone.

O 15.2: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 13:00-13:15

Hydrogeochemical evolution of subsurface water in an inland valley wetland, Uganda – the role of silicate weathering in saprolite and alluvium

Laura Heiß[1], Sonja Beuel[1], Barbara Reichert[1]

[1] Arbeitsgruppe Hydrogeologie, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Universität Bonn
Kontakt: s6laheis@uni-bonn.de

The presented master thesis is embedded in the BMBF-funded project "GlobE – Wetlands in East Africa". With the guiding theme "Reconciling future food production with environment protection" an interdisciplinary and international consortium assesses the wetlands' contributions to food security along climatic and social gradients. Their year-round water availability gives wetlands the potential to become production hotspots concurring with its other valuable ecosystem services. Since agricultural use is highly dependent on water quality it is necessary to outline the hydrogeochemical evolution of the wetland's water.

A sound hydrogeological mapping, accompanied by several drilling surveys was performed on the basis of an existing geological map. Single piezometer pumping tests as well as granulometric analyzes were used to determine the hydraulic parameters of the aquifer system. Chemical and mineralogical composition of representative sediment samples were analyzed using XRD and XRF, with special focus on clay minerals. An adequate spatial coverage of major, minor, and trace elements as well as *in-situ* parameters of wetland water is given by snap-shot samples taken from suction cups, piezometers and pumping wells.

The inland valley of Namulonge comprises Quaternary alluvial sediments overlying a saprolite. The existing geological map had to be modified with new stratigraphic correlations. The lateral expansion of the alluvial sediments comprises the valley bottom including lower parts of the wetlands slope. The upper organic soil layers consisting mainly of clay together with lower layers of sand, gravel and resorted saprolite rock fragments build a confined heterogenic layered aquifer system. Pumping test data evaluated with the time drawdown approach revealed transmissivities ranging between 10^{-5} and 10^{-6} m²/s with hydraulic conductivities of 10^{-5} m/s. The granulometric analyzes of depth-specific samples proved the heterogeneity of the sediment column with hydraulic conductivities ranging between 10^{-4} and 10^{-7} m/s. The alluvial sediments reflect a mineralogical composition of mainly quartz, kaolinite and feldspar with minor phases including smectite and illite/muscovite as a result of *in-situ* silicate weathering of granite, orthogneiss and slate. The quartz content decreases and the feldspar content increases from residual soil with prolonged saprolite depth, but the kaolinite content remains nearly constant. Hydrochemical composition is related to the geochemical evolution. The decrease of the quartz content in soils and rocks with depth is reflected clearly in the dissolved silica content of water. The high disaggregation of albite, anorthite and microcline in the upper layers is indicated by high concentrations of calcium, sodium and potassium. The deeper the

weathering profile, the lower the aluminum concentration due to the formation of the secondary clay mineral kaolinite.

O 15.3: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 13:15-13:30

Vergleich der Beschaffenheit von Karstwasserproben in der Umgebung der Gallusquelle, Schwäbische Alb

Martin Gitter[1], Johannes Zirlewagen[1], Ferry Schiperski[1], Traugott Scheytt[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, Fachgebiet Hydrogeologie, Technische Universität Berlin*
Kontakt: mgitter@gmx.de

In den hier untersuchten ländlichen Einzugsgebieten der Schwäbischen Alb bilden Schichtpakete des oberen Jura charakteristische Hochflächen und weisen zum Teil bedeutende Verkarstung auf. Die Grundwasserleiter besitzen eine hohe Vulnerabilität. Ziel der Untersuchung war lithologische Unterschiede zwischen den Grundwasserleitern und variierende anthropogene Beeinflussungen in den Einzugsgebieten durch die Beschaffenheit des Grundwassers nachzuweisen. Ende Juni 2014 wurden bei Trockenwetterabfluss Grundwasserproben an mehreren Quellen, zwei Brunnen und einer Grundwassermessstelle in der Umgebung der Gallusquelle entnommen. Die Niedrigabflussbedingungen ermöglichen es, Informationen zur Hydrochemie der langsamen Fließkomponente bzw. des langfristigen Karstwasserspeichers zu erhalten. Die Wasserproben wurden auf Kationen und Anionen im Geochemischen Gemeinschaftslabor der TU Berlin analysiert. Die Ionenkonzentrationen und -verhältnisse wurden mit der bekannten Geologie, Hydrogeologie und Landnutzung sowie dem geogenen Hintergrund verglichen.

Die Temperaturen weisen auf unterschiedliche Verweilzeiten der Karstwässer hin. Anhand des Vergleichs der Mg/Ca-Verhältnisse und der Temperatur konnte in einem Einzugsgebiet auf das verstärkte Auftreten von Dolomit geschlossen werden. Die Nitrat-Konzentrationen variieren deutlich und zeigen eine positive Korrelation mit dem Ackerflächenanteil. An mehreren Probennahmestellen weisen erhöhte Natrium- und Chlorid-Konzentrationen auf einen anthropogenen Salzeintrag hin. Die Kalium-Konzentrationen zeigen keine Korrelation mit Nitrat, gleichzeitig nimmt das Kalium-Natrium-Verhältnis mit zunehmenden Chlorid-Gehalten ab. Dies deutet auf unterschiedliche Eintragsquellen hin. Für mehrere Standorte liefern diese Betrachtungen Hinweise auf einen Abwassereintrag, wobei eine Unterscheidung zwischen geklärtem und ungeklärtem Abwasser mittels der angewandten Methoden nicht möglich war. Für das Quelleinzugsgebiet der für die Trinkwasserversorgung genutzten Gallusquelle konnte anhand von zwei Brunnen und der Messstelle ein räumlich variabler anthropogener Eintrag und Veränderungen in der Lithologie des Grundwasserleiters nachvollzogen werden.

O 15.4: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 13:30-13:45

Understanding Subsurface Pathways of Nitrate Transport on the Catchment Scale: A Case Study in the Semi-Arid Mediterranean Lerma Catchment

Carolin Thesenvitz[1], Claus Haslauer[1], Daniel Merchán[2], Jesus Causapé[2], David Rudolph[3], Olaf Cirpka[1]

[1] *Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen*
[2] *Geological Survey of Spain – IGME, Zaragoza, Spain*
[3] *Department of Earth and Environmental Sciences, University of Waterloo*
Kontakt: olaf.cirpka@uni-tuebingen.de

Most pronounced effects of climate change are expected in semi-arid areas (von Gunten et al. 2015 submitted). In Europe, these areas are typically located around the Mediterranean, and are also heavily populated and farmed. Both factors pose a significant threat to groundwater resources in terms of quantity and quality. Today, nitrate is the most commonly encountered contaminant in groundwater worldwide (Exner et al. 2014). Forecasting the terrestrial and aquatic pathways of nitrates is imperative for appropriate water management.

Our study site is located in such a critical area, is experiencing increasing nitrate contamination in both surface and subsurface water, and is trying to alleviate water problems by irrigation. The study site – the small Lerma catchment (~7 km) lies in the Ebro basin. The main land use was transformed within only two years, from 2006-2008, from rain-fed to irrigated agriculture on nearly half of the catchment surface (~48 %) lead to an overall change of the hydrological condition: The Lerma which grounded in summer is permanently auriferous today. This shift monitored in detail hydro-geologically. The Mediterranean small-scale Lerma catchment in northern Spain is intensively monitored regarding water quality and quantity since 2004 (Merchán 2015).

Von Gunten et al. (2014) worked on an efficient way of calibrating PDE (partial differential equations) based hydrological models. Based on the same study site, hydrological processes of groundwater and surface water processes are coupled at catchment scale. Von Gunten et al. (2015a, b) comprehensively studied the interrelationship of climate and land use changes using this model. Now, the integration of nitrate transport is the next step towards an integrated model comprising the most relevant processes at catchment scale.

Additionally to the hydrological data set, nitrate data (measurements in the gully and observation wells) and fertilizing and agricultural methods are available to integrate to the PDE based model of the Lerma catchment. The actual physical processes are spatially described within the domain. The study site needs to be described in detail (hydrological conductivity, porosity, Van Genuchten parameter, etc.). The computational grid will be constrained by the main hydrological features as well as the boarders of the agricultural plots to ensure an appropriate nitrate

input. The validation and calibration will be performed using surface and groundwater nitrate measurements from University of Zaragoza & IGME.

References

Exner, M.E., Hirsh, A.J., Spalding, R.F. (2014): Nebraska's groundwater legacy: Nitrate contamination beneath irrigated cropland. Water Resour. Res., 50(5), 4474–4489. doi:10.1002/2013WR015073

Merchán, D. (2015): Hydrological Assessment of a Newly Implemented Irrigated Area in Span: Sanlinization and Nitrate Pollution from Irrigation Return Flows. PhD. University of Zaragoza, Spain.

Merchán, D., Otero, N., Soler, A., Causapé, J. (2014): Main sources and processes affecting dissolved sulphates and nitrates in a small irrigated basin (Lerma Basin, Zaragoza, Spain): Isotopic characterization. Agric. Ecosys. Envir., 195, 127–138. doi:10.1016/j.agee.2014.05.011

Von Gunten, D., Wöhling, T., Haslauer, C., Merchán, D., Causapé, J., Cirpka, O.A. (2014): Efficient calibration of a distributed pde-based hydrological model using grid coarsening. J. Hydrol., 519, 3290–3304. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.10.025

Von Gunten, D., Wöhling, T., Haslauer, C., Merchán, D., Causapé, J., Cirpka, O.A. (2015): Estimating Climate-Change Effects on a Mediterranean Catchment under Various Irrigation Conditions. J. Hydrol. Reg. Stud. (4), 550–70. doi:10.1016/j.ejrh.2015.08.001.

Von Gunten, D., Wöhling, T., Haslauer, C., Merchán, D., Causapé, J., Cirpka, O. A. (2015): Estimating the Usefulness of Drought Indices to Predict Hydrological Effects of Climate Change. Hydrol. Earth Sys. Sc. (submitted).

O 15.5: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 13:45-14:00

Untersuchungen zur Nitratreduktion und Hydrochemie in einem Wasserschutzgebiet des östlichen Münsterlandes

Sascha Wilke[1], Frank Wisotzky[1], Britta Kettelför[2], Andre Banning[1]

[1] *Lehrstuhl Hydrogeologie, Ruhr-Universität Bochum*

[2] *Gelsenwasser AG, Gelsenkirchen*

Kontakt: sascha.wilke@rub.de

Im stark landwirtschaftlich geprägten Untersuchungsgebiet im östlichen Münsterland werden insbesondere im oberflächennahen Grundwasser deutlich erhöhte Nitratkonzentrationen von bis zu 183 mg/l gemessen. Das aus tieferen Bereichen geförderte Brunnenwasser zeigt hingegen nur minimale Nitratkonzentrationen, was auf einen massiven Abbau des Nitrats im feinsandigen Grundwasserleiter hindeutet.

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war eine Quantifizierung der hydrogeochemischen Nitratabbauprozesse sowie die Ermittlung der Tiefenlage der Hauptabbauzone. Da in sedimentären Grundwasserleitern eine Nitratreduktion zumeist gekoppelt ist an die Oxidation von organischem Kohlenstoff und mineralischem Sulfid, standen insbesondere Untersuchungen zu den jeweiligen Anteilen der organotrophen und lithotrophen Nitratreduktion im Vordergrund. Weiteres Ziel war die Ermittlung zusätzlicher Stoffeinträge in das Grundwasser.

Im Rahmen dessen wurde eine Multi-Level-Messstelle sowie eine 2-fach-Messstelle zur Erkundung der tiefenabhängigen Stoffverteilung im Grundwasser errichtet und das dabei

gewonnene Bohrmaterial auf ihren Gehalt an organischem Kohlenstoff und mineralischem Sulfid untersucht. Anschließend erfolgte eine Auswertung der Ergebnisse unter Einbindung bereits vorhandener Analysen weiterer Messstellen. Mittels zweier Säulenversuche war es im Folgenden möglich, Aussagen zum Nitratabbauvermögen abzuleiten.

Die Ergebnisse zeigen, dass in großen Teilen des Wasserschutzgebietes ein tiefenabhängiger Nitratabbau ab 9 m u. GOK erfolgt, was mit einer deutlichen Mobilisierung an Sulfat und CO_2(gesamt) im Grundwasser einhergeht. Im Bereich der Multi-Level-Messstelle nimmt die Nitratkonzentration zwischen 9-10 m u. GOK sprunghaft ab. Dies korreliert mit einem Maximum an organischem Kohlenstoff von 2,05 Gew.% im Gestein. Organotrophe Nitratreduktion stellt mit etwa 75 % den dominierenden Anteil der Nitratreduktion dar. Lithotrophe Nitratreduktion nimmt einen Anteil von etwa 25 % ein. In Säulenversuchen konnte weiterhin gezeigt werden, dass auch Material aus tieferen Bereichen ein Potenzial zur Nitratreduktion besitzt. Auch hierbei dominierten organotrophe Abbauprozesse, trotz geringerer Anteile organischen Kohlenstoffs im Gestein. Ein Anteil lithotropher Nitratreduktion war nicht in allen Versuchen vorhanden. Im Vergleich mit weiteren Messstellen ist erkennbar, dass die Hauptaubbauzone nicht durchgängig im Wasserschutzgebiet ausgeprägt ist und vereinzelt auch erhöhte Nitratkonzentrationen in tieferen Bereichen gemessen werden.

Die tiefsten Filterelemente der Multi-Level-Messstelle zeigen eine deutliche Zunahme der Natrium-, Chlorid-, Calcium-, Eisen- und Hydrogencarbonatkonzentration. Dies deutet auf einen Eintrag höher mineralisierten Grundwassers aus dem liegenden Emscher-Mergel hin. Erhöhte Konzentrationen an Kalium treten ausschließlich im oberflächennahen Grundwasser auf. Mögliche Ursache ist eine Ausbringung kaliumhaltiger Düngemittel.

O 15.6: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 14:00-14:15

Uranmobilisierung im Buntsandstein des Mechernicher Triasdreiecks

Florian Schindler[1], Frank Wisotzky[1], Andre Banning[1], Cremer Nils[2]

[1] *Ruhr Universität Bochum*

[2] *Erftverband*

Kontakt: florian.schindler@ruhr-uni-bochum.de

Uran als natürlicher Spurenbestandteil des Grundwassers gewinnt gegenwärtig in politischen und wissenschaftlichen Diskussion immer mehr an Bedeutung. In Deutschland sind insbesondere in Gesteinen der Trias erhöhte Urankonzentrationen im Grundwasser zu messen. Nicht zuletzt wurde aufgrund der toxischen Wirkung von Uran für den Menschen, im Zuge der Novellierung der Trinkwasserverordnung 2011 ein Grenzwert von 10 µg/l festgeschrieben. Auch in der Mechernicher Triassenke (Nordeifel) sind erhöhte Urankonzentrationen im Grundwasser (max. 56 µg/l) vorzufinden. Da die Mobilisierungsprozesse des geogenen Uranpools in dieser Region weitestgehend unbekannt sind, setzt sich diese Arbeit insbesondere

damit auseinander. Das Untersuchungsgebiet liegt etwa 30 km westlich von Bonn und erstreckt sich über eine Fläche von etwa 160 km². Als Grundlage der Untersuchung dient ein Datensatz von Rohwasseranalysen des Erftverbandes, für den rund 270 Grundwassermessstellen beprobt wurden. Die mittlere Urankonzentration liegt bei 3,7 µg/l, allerdings liegen die Konzentrationen in rund 7% der Messstellen (überwiegend in Gesteinen des mittleren Bundsandsteins westlich von Mechernich) über dem Grenzwert der TVO.

Bei der Gegenüberstellung aller Messwerte der Urankonzentration und der Ionenkonzentration der Kohlenstoff-Spezies fällt auf, dass die hohen Urankonzentrationen mit hohen Konzentrationen an HCO_3^- korrelieren. Dieser Trend bestätigt sich allerdings nicht in den zeitlichen Konzentrationsverläufen in mehreren Messstellen, dennoch ist hier ein Zusammenhang – Uranmobilisierung durch Bildung stabiler Karbonato-Komplexe bei Anwesenheit von Hydrogenkarbonat – zu vermuten. Bei der Gegenüberstellung der Konzentrationen von Uran und Nitrat ist teilweise eine deutliche gegenläufige Korrelation im zeitlichen Verlauf zu erkennen, welche durch eine Denitrifikation und Uranfreisetzung zustande kommen könnte. Beide Prozesse – erhöhte Uranmobilität durch Karbonatkomplexierung und im Bereich der Nitratreduktion – sind in der Literatur beschrieben. Auch erste Untersuchungen des Redoxmilieus aus den Rohwasseranalysen zeigen, dass die hohen Urankonzentrationen überwiegend bei NO_3^- /Mn(IV)–reduzierenden Verhältnissen zu finden sind.

Um ein genaueres Bild der Mobilisierungsprozesse zu bekommen, ist eine weitergehende Auswertung der Rohwasseranalysen erforderlich. Des Weiteren ist vorgesehen, Gesteinsproben des Buntsandsteins zu entnehmen und diese auf Ihren Chemismus zu untersuchen, um auch die Gesteinszusammensetzung in einen Zusammenhang mit den Urankonzentrationen zu stellen. Außerdem sind Batchversuche mit den gesammelten Gesteinsproben geplant. In diesen Versuchen soll die Uranmobilisierung in Nitrat- bzw. Hydrogenkarbonat-reichen Lösungen, sowie in destilliertem Wasser untersucht werden. Aus der Gesamtheit der Auswertungen der Versuche und Rohwasseranalysen soll ein möglichst schlüssiges Bild über die Uran-Mobilisierungsprozesse im Buntsandstein bei Mechernich entstehen.

Literatur

Kurth, D. (2010): Distribution and Origin of Geogenic Uranium in Groundwater systems of the Southern Lower Rhine Embayment and Adjacent Areas

Ludwig, F., Berthold, G. (2010): Uran in hessischen Grund- und Rohwässern Abschlussbericht

Banning, A.; Demmel, D.; Rüde, T.R.; Wrobel, M. (2013): Groundwater Uranium and Fate control in a River Valley Aquifer

O 15.7: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 14:15-14:30

3D-geologische Modelle als Grundlage für Stofftransportmodellierung

Daniel Schweizer[1], Philipp Blum[1], Christoph Butscher[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*
Kontakt: daniel.schweizer@kit.edu

3D-geologische Modelle finden immer häufiger Anwendung in der Wissenschaft, bei ingenieurtechnischen Anwendungen und bei Entscheidungsprozessen. Sie werden auf Grund ihrer hohen Datenkonsistenz und überlegenen Datenvisualisierung zunehmend gegenüber 2D-Lösungen vorgezogen und sind eine wichtige Grundlage vieler wissenschaftlicher Fragestellungen. Auch für eine prozessbasierte, hydraulisch und geochemisch gekoppelte Modellierung können geologische 3D-Modelle die geometrisch-strukturelle Basis für ein besseres Verständnis der zugrundeliegenden Prozesse und geologischen Implikationen bieten. Obwohl 3D-geologische Modelle ein oft wesentlicher Bestandteil der Methodik sind, werden diese, einmal festgelegt, bei der späteren Prozessmodellierung selten jedoch in Frage gestellt und nachträglich validiert.

Im Untersuchungsgebiet Staufen (SW-Deutschland) kam es nach der Installation von Erdwärmesondenbohrungen zu Quellerscheinungen in Ton-Sulfatgesteinen des Gipskeupers und in der Folge zu Hebungen an der Erdoberfläche (Ruch & Wirsing 2013). Die zugrundeliegenden Prozesse bei diesem Quellvorgang sind komplex und noch nicht hinreichend erklärt. Insbesondere die Bestimmung der hydrogeologischen und geochemischen Prozesse in der Quellzone gestaltet sich schwierig. Darüber hinaus bleibt der zusätzliche Einfluss von baulichen Eingriffen (Bohrungen) weitgehend unbekannt.

In diesem Beitrag wird gezeigt, wie geometrische Unsicherheiten eines Strukturmodelles erfasst und eine spärliche Datenverfügbarkeit bei einer 3D-geologischen Modellierung berücksichtigt werden können. Dazu wurden mehrere 3D-Modelle unterschiedlicher Komplexität erstellt, die die lokalen geologischen Gegebenheiten des Untersuchungsgebiets Staufen abbilden. Die vorhandenen geologischen Informationen werden bei der Modellentwicklung schrittweise integriert und berücksichtigt, wodurch die strukturelle Komplexität, aber auch die Unsicherheiten zunehmen. Da die Qualität der verfügbaren Daten eine hohe Variabilität und damit einhergehend Unsicherheiten unterschiedlichster Ausprägungen aufweisen, wurde ein qualtitativer, deskriptiver Ansatz gewählt, um die Datengrundlage zu klassifizieren. Dieser Ansatz kategorisiert Strukturinformationen der vorhandenen Datenquellen (Bohrungen, 2D-Seismik , geologische Karten und Profile, etc.) anhand von zwei Kenngrößen: (1) der Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins und (2) dem Grad der Genauigkeit jeder belegten geologischen Struktur.

Der präsentierte Ansatz zur Erstellung mehrerer geologischer 3D-Modelle unterschiedlicher Komplexität liefert eine Methode, bei geringer Datenlage eine Bewertung der Unsicherheiten

des Strukturmodelles durchzuführen. Der Ansatz ist eine wichtige Grundlage für die weitere Untersuchung der hydraulischen und geochemischen Prozesse beim Quellen Anhydrit führender Tonsteine.

Literatur

Ruch, Clemens; Wirsing, Gunther (2013): Erkundung und Sanierungsstrategien im Erdwärmesonden-Schadensfall Staufen i. Br. In: geotechnik 36 (3), S. 147–159.

O 15.8: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 15:00-15:15

The Impact Sedimentary Anisotropy on Solute Mixing in Groundwater

Jeremy Bennett[1], Claus Haslauer[1], Olaf Cirpka[1]

[1] *Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen*
Kontakt: olaf.cirpka@uni-tuebingen.de

The importance of realistic sedimentary architectures for flow and transport in gravel deposits has been analyzed in aquifer-analog studies (e.g., Bayer et. al., 2011). A common approach is to take outcrop data, identify structural elements with similar hydraulic characteristics ("hydrofacies"), assign hydraulic conductivity values to each hydrofacies, and analyse metrics of groundwater flow (e.g., effective hydraulic-conductivity tensors) and solute transport (e.g., macrodispersion coefficients). However, in many studies the internal anisotropy of the sedimentary units has been neglected. This anisotropy is discontinuous at the interfaces of the hydrofacies.

Bakker & Hemker (2004), and more recently Cirpka et al. (2015), have demonstrated that changes in the orientation of hydraulic anisotropy can cause twisting in groundwater velocity fields, which impacts transverse mixing and thus the length of mixing-controlled contaminant plumes. In these studies, however, extended stripes of aquifer material with particular anisotropy orientations have been assumed, which do not resemble real sedimentary architectures.

In the present study, we consider a virtual, three-dimensional gravel aquifer composed of trough-fill structures with blockwise homogeneous, anisotropic hydraulic conductivity, mimicking glaciofluvial sediments reported in the upper Rhine valley. We compare four cases: (1) the homogeneous, isotropic base case; (2) variability of isotropic hydraulic conductivity between the individual trough fills; (3) variability in the orientation of anisotropic hydraulic conductivity among the trough fills, in which the principal values of hydraulic conductivity are identical in all blocks; (4) the combination of variability in the absolute value of hydraulic conductivity and the orientation of anisotropy. For cases 2-4, we generate multiple realisations, perform flow simulations in such a way that the mean flow velocity vector is identical among all realisations in all cases, and conduct transport simulations on streamline-oriented grids.

The results clearly show that variability in the orientation of anisotropy is the key factor for variability in transverse flow components and thus controls transverse mixing. By contrast, the

variability in the absolute value of hydraulic conductivity controls the variability of the longitudinal velocity fluctuations and thus longitudinal macrodispersion.

We conclude that estimating the small-scale anisotropy of sedimentary units is important for the prediction of transverse mixing. In most practical applications such information is difficult to gather by field surveys, but extended aquifer-analog studies may help in estimating the strength of anisotropy and the range of variability in its orientation.

References

Bakker, M., Hemker, K. (2004): Analytic solutions for groundwater whirls in box-shaped, layered anisotropic aquifers, Adv. Water Res., 27(11), 1075–1086.

Bayer, P., Huggenberger, P., Renard, P., Comunian, A. (2011): Three-dimensional high resolution fluvio-glacial aquifer analog: Part 1: Field study, J. Hydrol., 405(1–2), 1–9.

Cirpka, O. A., Chiogna, G., Rolle, M., Bellin, A. (2015): Transverse mixing in three-dimensional nonstationary anisotropic heterogeneous porous media, Water Resour. Res., 51, 241–260.

O 15.9: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 15:15-15:30

Einfluss nicht klimatischer Eingangsdaten auf die Modellierung der zukünftigen Grundwasserneubildung eines urbanen Gebietes

Sabine Meißner[1], Stephanie Hänsel[1], Volkmar Dunger[2], Jörg Matschullat[1]

[1] *Interdisziplinäres ökologisches Zentrum (IÖZ), TU Bergakademie Freiberg*

[2] *Institut für Geologie, Lehrstuhl für Hydrogeologie, TU Bergakademie Freiberg*

Kontakt: sabine.tesch@ioez.tu-freiberg.de

Nicht vorhandene oder unzureichende Eingangsdaten sind für die Wasserhaushaltsmodellierung eine große Herausforderung, da die Qualität der Ergebnisse von der Qualität der Eingangsdaten abhängt. Außerdem ist die Datenverfügbarkeit ein wichtiges Auswahlkriterium für das zu verwendende Wasserhaushaltsmodell. Die Modelleingangsdaten und -parameter umfassen neben den meteorologischen Daten auch Landnutzungsdaten, morphologische Daten, Grundwasserflurabstände und Bodendaten. All diese Eingangsdaten charakterisieren ein Untersuchungsgebiet als solches. Urbane Gebiete sind sehr komplexe Untersuchungsgebiete, für die sich sehr unterschiedliche Informationen überlagern können und für die folglich eine Parametrisierung sehr anspruchsvoll sein kann.

Für die Beschreibung des IST-Zustandes eines Untersuchungsgebietes wird im Normalfall die bestmögliche Datengrundlage geschaffen, was im Einzelfall sehr zeitaufwändig ist. Für die Simulation zukünftig möglicher Veränderungen des Wasserhaushaltes wird im Allgemeinen die Verwendung eines Ensemble-Ansatzes (d.h. Nutzung verschiedener Klimaprojektionsdatensätze) empfohlen, um die klima(modell)bedingten Unsicherheiten abschätzen zu können. Diese Rechnungen sind ebenfalls sehr zeitintensiv. Hier soll bewertet werden, wie relevant der Einfluss der nichtklimatischen Eingangsdaten auf die Bewertung der Änderung des zukünftigen Wasserhaushaltes unter Nutzung eines Ensembles von Klimaprojektionsdaten ist. In der

Bewertung spielen die begrenzten Zeitressourcen (Schaffung einer optimalen Datengrundlage vs. Rechnen möglichst vieler Klimaprojektionsdatensätze) und die Unsicherheitsbewertung (Kaskade von Unsicherheiten vom globalen Klimamodell bis hin zum Impaktmodell) eine Rolle.

Für das Stadtgebiet von Dresden wurden im Rahmen des BMBF Verbundprojektes REGKLAM (Integriertes regionales Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden) Parameterstudien durchgeführt. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf dem Einfluss verschiedener Bodendatensätze auf die flächendifferenzierte Modellierung der Grundwasserneubildung. Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass für den IST-Zustand die unter sehr stark vereinfachten Annahmen erzielten Modellergebnisse nur geringfügig (5–10%) von denen mit einer detaillierten Modellparametrisierung abweichen. Der Einfluss auf das Änderungssignal unter Nutzung verschiedener Klimaprojektionen wird derzeit bewertet. Messwerte zur Modellkalibrierung existieren nicht.

Für die Beschreibung des Ist-Zustandes wird bei einer Modellierung immer versucht durch die verwendeten Parameterdatensätze die Realität so gut wie möglich wiederzugeben. Bei der Verwendung von Klimaprojektionsdaten sollte eine solche Herangehensweise hinterfragt werden. Die letztendliche Entscheidung hinsichtlich des genutzten Parameterdatensatzes und der einzubeziehenden Klimaprojektionsdaten hängt stark von der jeweiligen Fragestellung ab.

O 15.10: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 15:30-15:45

Einzugsgebietseingrenzung mittels Multitracerversuch im zerklüfteten Kalksandstein der Baumberge (Billerbeck, Kreis Coesfeld, NRW)

Jonas van der Weem[1], Patricia Göbel[1]

[1] *Institut für Geologie und Paläontologie, WWU Münster*
Kontakt: jonas.vdw@uni-muenster.de

Eine touristisch genutzte Quelle der Berkel („B XVI“) in Billerbeck zeigt – vermutlich landwirtschaftlich bedingt – erhöhte Nitrat-Werte. Seit Jahrzehnten ist die Eutrophierung so stark, dass es jährlich zu einer Algenblüte und unangenehmen Gerüchen im Quelltopf kommt (Schirmer, 2009).

Um die Nitrat-Belastung zukünftig gezielt zu reduzieren, soll im Bereich des unterirdischen Einzugsgebietes der Quelle eine Änderung der Landnutzung stattfinden. Vorhergegangene Untersuchungen in Bezug auf die Wasserbilanz des „Naturlysimeters Baumberge“ legen nahe, dass die Grenzen der unterirdischen Einzugsgebiete in den Baumbergen aufgrund von Klüftungs- und vermutlich Verkarstungserscheinungen nicht mit denen der oberirdischen Einzugsgebiete übereinstimmen (Engel, 2008).

Die Baumberge bilden etwa 20 km westlich von Münster einen Höhenzug im Münsterländer Kreidebecken. Oberflächlich liegen die Baumberge-Schichten: Sie bestehen aus sandig-

mergeligen bis kalkig-sandigen Festgesteinen der Oberkreide. Die Baumberge-Schichten stellen einen Kluftgrundwasserleiter dar, die Hauptkluftrichtung ist etwa Nord-Süd-orientiert, die Nebenkluftrichtungen verlaufen etwa West-Ost. Einer Muldenform, die Nordwest-Südost streicht, folgend werden die Baumberge-Schichten von den vertikal wesentlich geringer durchlässigen Coesfeld-Schichten unterlagert, sodass es zu zahlreichen Überlaufquellen auf etwa +120 mNHN kommt (Dölling, 2007).

Zur Ermittlung der Grenzen des unterirdischen Einzugsgebietes wird im Rahmen einer Masterarbeit ein Multitracerversuch durchgeführt: Es wurden zwei Grundwassermessstellen knapp außerhalb der oberirdischen Einzugsgebiete als Eingabestellen für Uranin und Eosin ausgewählt. Untersuchungen an Nullproben zeigten, dass weder an den Eingabe- noch an den Beobachtungsstellen Hintergrundbelastungen mit den Tracern vorliegen.

Die Eingabe der Tracer wird am 02.01.2016 erfolgen. Auf Basis von vorhergegangenen Tracerversuchen in der Region und einem Pumpversuch in der Nähe der Quelle, der (sehr) hohe Transmissivitäten zeigte, werden maximale Abstandsgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 100 m/d erwartet. Über einen Zeitraum von zunächst sieben Wochen werden etwa 1.000 Proben an zehn ausgewählten Grundwassermessstellen und sechs Quellen genommen. Es sind dadurch verschiedene mögliche Grundwasserfließrichtungen abgedeckt. Zusätzlich werden diverse Quellbäche mit Aktivkohlesäckchen ausgestattet, die eine halbquantitative Analyse erlauben. Die Analyse der Fluoreszenzfarbstoffe erfolgt mit dem Fluoreszenzspektrometer „Safire“ der Firma TECAN®.

Das oberirdische Einzugsgebiet der betrachteten Berkelquelle „B XVI“ ist 1,73 km^2 groß. Je nach Austritt der Tracer wird dies verifiziert werden oder die Grenzen des unterirdischen Einzugsgebietes müssen verschoben werden.

Literatur

Dölling, B. (2007): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000, Erläuterungen zu Blatt 4010 Nottuln. Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld.

Engel, M. (2008): Erfassung der Abflusskomponente in den Baumbergen (Münsterland, NRW). Unveröffentlichte Diplomarbeit, WWU Münster.

Schirmer, C. (2009): Chemisch-ökologische Untersuchung der Eutrophierung des Berkelquelltopfes in Billerbeck. Unveröffentlichte Diplomarbeit, WWU Münster.

O 15.11: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 15:45-16:00

Hydrogeologische Entwicklung und Dynamik einer jungen Barriereinsel am Beispiel der Ostplate Spiekeroogs

Tobias Holt[1], Janek Greskowiak[1], Holger Freund[2], Gudrun Massmann[1]

[1] *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, AG Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt*

[2] *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Chemie und Biologie des Meeres, AG Geoökologie*

Kontakt: tobias.holt@uni-oldenburg.de

Die Barriereinsel Spiekeroog zeichnet sich besonders durch die morphologischen Veränderungen der sich im Osten der Insel anschließenden Ostplate aus (Syndowski 1973). Diese entwickelte sich innerhalb der vergangenen 80 Jahre von einer flachen, dünen- und vegetationslosen Sandplate zu einem fast vollständig vegetationsbedecktem Gebiet mit einem weitgehend geschlossen verlaufenden Hauptdünenzug. Ersten Erkundungen zufolge, befinden sich unterhalb der Dünenkomplexe bereits Süßwasservorkommen, deren räumliche Ausdehnung jedoch zeitlich stark zu variieren scheint (Röper et al. 2013). Da es derzeit keine zeitlich und räumlich hochaufgelösten Geländeuntersuchungen zu Bildung und Dynamik von Süßwasserlinsen gibt und morphodynamische Veränderungen von Barriereinseln und deren Auswirkungen auf unterlagernde Süßwasserreservoire von großer Bedeutung für Küstenökosysteme und die Trinkwasserversorgung der Barriereinseln sind, sollen in diesem Vortrag Methodik und erste Ergebnisse eines Promotionsvorhabens vorgestellt werden, das die geomorphologische Entwicklung und die daran gekoppelten initialen hydrogeologischen Prozesse der Entstehung von Süßwasservorkommen unterhalb einer Barriereinsel chronologisch nachvollzieht. Dabei sind die geomorphologischen Veränderungen im Vorstrandbereich mit Embryonaldünenentwicklung sowie besonders die Mächtigkeit, Ausdehnung, Alter und Dynamik der Süßwasservorkommen von Interesse. Die stark geschützte, vom Menschen weitgehend unbeeinflusste Ostplate bietet für die geplanten Untersuchungen ideale Voraussetzungen, da die sehr dynamischen Entwicklungen in einem bekannten Zeitfenster stattfanden. Obwohl die Ostplate keine eigenständige Barriereinsel ist, sind die hydrogeologischen Prozesse identisch mit denen einer sich isoliert bildenden Insel.

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

Syndowski, K.-H. (1973): Das ostfriesische Küstengebiet. Insel, Watten und Marschen. Sammlung geologischer Führer. 162 S., Berlin und Stuttgart

O 15.12: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 16:00-16:15

Hydrogeologische Erkundung des Thermalwasserregimes zwischen Taxenbach und der Liechtensteinklamm

Daniela Strick[1]

[1] *Universität Salzburg*
Kontakt: strick_daniela@yahoo.de

Am Nordrand des Tauernfensters im Salzburger Pongau und Pinzgau (Österreich) sind einige wenige Thermalwasservorkommen bekannt. Diese liegen allesamt in den verkarstungsfähigen Gesteinen der penninischen Klammkalkzone südlich angrenzend an das Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg (SEMP)-Störungssystem im Salzachtal. Neben Thermalwässern, die im Triebwasserstollen des Kraftwerks Schwarzach auf Höhe Lend bei der Kraftwerkserrichtung in den 1950er Jahren angefahren wurden, zählen dazu auch freie Austritte temperierter Quellwässer im südlichen Bereich der sagenumwobenen Liechtensteinklamm. Bei diesen Quellen handelt es sich um Mischwässer, die sowohl rezentes Oberflächenwasser als auch warme geothermisch beeinflusste Tiefenwässer aufweisen. Im Rahmen dieses Vortrags soll das Thermalwasserregime im Salzachtalabschnitt zwischen Taxenbach und der Liechtensteinklamm bei St. Johann erläutert werden. Auf Basis hydrochemischer Modellrechnungen, Isotopenanalysen sowie der strukturgeologischen Interpretation von Fernerkundungsdaten wurde ein konzeptionelles hydrogeologisches Modell des Thermalwassersystems entwickelt. Die an den oben genannten Lokationen gewonnen Erkenntnisse sollen zu einem besseren Verständnis von Thermalwassersystemen innerhalb der Klammkalkzone beitragen.

O 15.13: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 16:15-16:30

Quantitativer Tracerversuch im Karst zur Untersuchung der hydraulischen Anbindung eines Regenüberlaufbeckens (Gallusquelle, Baden-Württemberg)

Morgan Tranter[1]*, Ferry Schiperski*[1]*, Johannes Zirlewagen*[1]

[1] *Institut für Angewandte Geowissenschaften, Universität Berlin, Ernst-Reuter-Platz 1, 10587 Berlin*
Kontakt: morgan.am.tranter@campus.tu-berlin.de

Ein beträchtlicher Anteil der weltweiten Trinkwasserversorgung wird durch Karstgrundwasserleiter sichergestellt. Diese sind jedoch häufig sehr anfällig gegenüber Kontaminationen.

Im ländlichen Karsteinzugsgebiet der für die lokale Trinkwasserversorgung gefassten Gallusquelle (Schwäbische Alb) wurde ein Regenüberlaufbecken, ca. 9 km nordwestlich der Quelle, als potentielle Kontaminationsquelle für Mikroorganismen und anthropogene Schadstoffe

identifiziert (Heinz et al., 2009; Schiperski et al., 2015). Zur Untersuchung der hydraulischen Anbindung des Überlaufbeckens und des Stofftransports wurde ein quantitativer Tracerversuch bei relativ hoher Quellschüttung (ca. 0,8 $m^3 s^{-1}$) durchgeführt. Die Eingabe erfolgte direkt im Ablauf des Regenüberlaufbeckens. Es wurde der Fluoreszenzfarbstoff Sulforhodamin G eingesetzt, der hier als konservativer Tracer angenommen wird. Die geringe Wasserlöslichkeit des Stoffes machte es für eine Eingabemenge von 2,5 kg notwendig, ein verhältnismäßig großes Volumen von 2 m^3 Tracerlösung einzugeben, was eine längere Eingabedauer zur Folge hatte.

Die vermutete hydraulische Anbindung wurde mit Hilfe des Versuches eindeutig bestätigt. Die Durchbruchskurve konnte mit einem two-region non-equilibrium Modell (CXTFIT) sehr gut angepasst werden. Die Ergebnisse der Modellierung unterstreichen, dass die Auswirkung der verlängerten Eingabe von 30 min vernachlässigt werden kann. Vorangegangene Tracertests an anderen Stellen im Einzugsgebiet ließen Vermutungen über eine Beziehung zwischen Quellschüttung und mittlerer Transportgeschwindigkeit zu. Die mittlere Geschwindigkeit ist danach mit 114 m h^{-1} etwas geringer als erwartet. Auch die Maximalgeschwindigkeit von 145 m h^{-1} lag im Bereich von in der Literatur genannten Werten. Die geringe Wiederfindung des Tracers von 14 % ist andererseits ein Indiz für ein gewisses Retentionsvermögen entlang der Fließstrecke (insbesondere im Bereich des Epikarst) und für die Sorptionsneigung des Tracers. Bei einem Starkniederschlagereignis zwei Wochen nach dem Tracertest wurde ein erneuter Tracerdurchgang im Quellwasser beobachtet, bei welchem insgesamt weitere 1,5 % der Eingabemenge nachgewiesen werden konnten. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass bei einem Überlauf des Regenüberlaufbeckens ein signifikanter Teil der Substanzen im Epikarst und dem Karstgrundwasserleiter selbst verbleiben und erst mit deutlicher Verzögerung oder nach weiteren Witterungsereignissen in der Quelle auftreten.

Literatur

Heinz, B; Birk, S.; Liedl, R.; Geyer, T.; Straub, K. L.; Andresen, J.; Bester, K.; Kappler, A. (2009): Water quality deterioration at a karst spring (Gallusquelle, Germany) due to combined sewer overflow: Evidence of bacterial and micro-pollutant contamination. – Environmental Geology, 57, 4 (2009), 797-808.

Schiperski, F.; Zirlewagen, J.; Hillebrand, O.; Nödler, K.; Licha, T.; Scheytt, T. (2015): Relationship between organic micropollutants and hydro-sedimentary processes at a karst spring in south-west Germany. – Science of The Total Environment, 532 (2015), 360–367.

O 15.14: Plank Hörsaal, Geb. 40.32, 13.04.2016, 16:30-16:45

Sorption of acidic organic contaminants to carbonaceous sorbents – mechanisms and prediction

Gabriel Sigmund[1], Melanie Kah[1], Sun Huichao[1], Thilo Hofmann[1]

[1] *Department of Environmental Geosciences, University of Vienna*
Kontakt: gabriel.sigmund@univie.ac.at

The remediation of low concentration diffuse contaminated sites can be cost intense and is therefore often not feasible, but may nevertheless pose risks to both soil and groundwater resources. Recently the potential use of sustainable low cost carbonaceous sorbents to immobilize neutral organic contaminants and heavy metals showed promising results, and has therefore received increasing attention in the scientific community (Ahmad 2014). In addition, biochar, a carbonaceous sorbent, is used in agriculture to increase soil pH and water holding capacity. As a side effect, agricultural biochar implementation may prevent the leaching of agrochemicals to the groundwater and is thought to have a positive CO_2 footprint.

Many contaminants of concern, however, are organic acids that dissociate under environmental conditions, and may thus exist as neutral and/or anionic species. The sorption of dissociated organic acids to carbonaceous sorbents is typically lower than that of neutral species, but is driven by complex processes that are not yet fully understood. Approaches to predict sorption developed for neutral compounds and based on Kow, are unlikely to be suitable for organic acids, due to the effects of dissociation on sorption. Previous studies on the sorption of organic acids to soils have demonstrated that Dow, which describes the decrease in hydrophobicity of acids as a result of dissociation, is a useful alternative to Kow (Kah & Brown 2008).

The aim of the present study was to test the applicability of a Dow based concept to describe the sorption of acidic organic contaminants to carbonaceous sorbents. Batch experiments were performed with a series of 15 materials including carbon nanotubes, activated carbon, and a variety of biochars and four acidic compounds commonly used for pesticidal and biocidal purposes (i.e., 2,4-D, MCPA, 2,4-DB, and triclosan). The wide range of properties considered allows (i) discussing the mechanisms driving the sorption of neutral and anionic species to carbonaceous sorbents, and (ii) their dependency on sorbate and sorbent properties.

Results showed that the sorption of the four acids was influenced by factors that are usually not considered for neutral compounds. Dissociation affected the sorption of the four compounds, and sorption of the anions ranged over five orders of magnitude, thus substantially contributing to sorption in some cases. For prediction purposes, most of the variation in sorption (>80%) could be well described with a two-parameter regression equation including Dow and specific surface area. The proposed model may serve as a base to estimate the environmental fate of organic acids in the presence of carbonaceous sorbents.

References

Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., Ok, Y. S. (2014): "Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review.," Chemosphere, vol. 99, pp. 19–33.

Kah, M., Brown, C. D. (2008): "LogD: lipophilicity for ionisable compounds," Chemosphere, vol. 72, pp. 1401–1408.

Poster

P 15.1

Konzeptionelles hydrogeologisches Modell der Embacher Plaike (Österreich) – der Einfluss von Grundwasser auf rezente Massenbewegungen in inneralpinen quartären Talfüllungen

Katharina Brandner[1]

[1] *Karl-Franzens-Universität Graz*
Kontakt: katharina.brandner@edu.uni-graz.at

Die Embacher Plaike ist eine aktive Massenbewegung, die von der Embacher Hochebene und somit dem Ort Embach bis hinunter zur Salzach reicht. Die davon ausgehenden Gefahren sind durch das Rückschreiten der Abrisskante in Richtung der Ortschaft, sowie durch die mögliche Aufstauung der Salzach gegeben. Bewegungen in der Plaike werden vermutlich durch Wasser induziert. Um Gegenmaßnahmen und die Stabilisierung der Embacher Plaike zu ermöglichen, gilt es, das hydrogeologische System in der Plaike und der darüber liegenden Hochebene rund um Embach zu verstehen.

Geologisch gesehen liegt das Untersuchungsgebiet in der Grauwackenzone (GWZ), deren Grundgebirge in diesem Bereich aus verschiedenen Phylliten und metamorphen Vulkaniten aufgebaut ist, die hauptsächlich mittelsteil nach NE einfallen. Im Hangenden des Grundgebirges findet man quartäre, fluviatile, leicht schräg geschichtete Schotter und Sande, die Großteils zu Konglomerat verkittet sind und eine Mächtigkeit von bis zu 40m einnehmen können. Lokal werden die Konglomerate von Deltaschottern überlagert, regional haben sich über diesen Seetone abgelagert. Darüber findet man 10-40m mächtige Moränenablagerungen. Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Nahbereich der Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung (SEMP). Die Tauernnordrandstörung, welche das Tauernfenster und die Grauwackenzone trennt, verläuft südlich der Embacher Plaike auf der Embacher Hochebene.

Im Zuge einer hydrogeologischen Kartierung der Embacher Plaike sowie deren orographischen Einzugsgebiets, welches die Embacher Hochebene einschließt, wurden Quellwässer mit elektrischen Leitfähigkeitswerten zwischen 178 und 1230 µS/cm erhoben. Hydrochemische Untersuchungen lassen darauf schließen, dass diese Unterschiede auf stark unterschiedliche Sulfatgehalte der Wässer zurückgeführt werden können. Die Herkunft des Sulfates soll in weiterer Folge anhand der Schwefelisotopie festgestellt werden.

Mit Hilfe von Abflussmessprofilen, Markierungsversuchen und geophysikalischen Untersuchungen, deren Ausgestaltung auf den Ergebnissen der hydrogeologischen Kartierung und hydrochemischen Untersuchungen aufbaut, werden die Fließsysteme oberhalb und in der Plaike untersucht, um deren Einfluss auf die Massenbewegung beurteilen zu können. Die Ergebnisse der Studie bilden die Grundlage für etwaige Schutzmaßnahmen zur Stabilisierung der Plaike.

Literatur

Dietrich, M. (1988): Geologischer Bericht zum aktuellen Zustand der Embacher Plaike

Stiny, J. (1911): Geologisches Gutachten über das Detailprojekt betreffend die Verbauung der Embacher- und Espangplaike

Autorenliste

A

Achtziger-Zupančič, Peter: O 5.2
Adrian, Yorck: P 13.3
Al-Azawi, Aziz: P 2.5
Aldo, Fiori: O 8.5
Alfaro, Paulina: O 2.2
Allier, Delphine: O 2.8
Altmannsberger, Charlotte: P 12.8
Amann, Florian: O 5.4
Anbergen, Hauke: P 1.2
András, Bárdossy: O 9.4
Anibas, Christian: P 8.7, P 12.2
Aravena, Ramon: O 8.3
Attinger, Sabine: P 2.1
Axel, Bergmann: P 9.3
Ayora, Carlos: P 11.3
Azzam, Rafig: P 13.3

B

Baierl, Michael: O 3.3
Balzer, Constantin: P 3.1
Banning, Andre: O 9.8, O 15.5, O 15.6, P 8.11
Banzhaf, Stefan: P 11.2
Bär, Kristian: P 5.7
Bartels, Jörn: O 12.1
Barth, JAC: P 14.5
Barth, Johannes: P 2.10
Barthel, Roland: P 11.2
Barufke, Klaus - Peter: O 6.3
Battegazzore, Maurizio: P 6.2
Bauer, Sebastian: O 5.1
Baumann, Thomas: O 12.1, P 5.6, P 12.5
Bäumle, Roland: P 2.3
Bayer, Peter: O 5.4, O 14.5
Becker, Martin: O 3.4
Behrens, Horst: P 5.1
Bender, Steffen: O 7.6
Benjamin, Bichler: O 1.7
Bennett, Jeremy: O 15.8
Benson, Sally: O 5.5
Benz, Susanne: O 14.5
Bergmann, Axel: O 9.8
Bertoldi, Giacomo: O 1.4
Bester, Kai: P 11.2
Betterle, Andrea: P 1.3
Beuel, Sonja: O 2.4, O 15.2
Beyer, Christof: O 5.1
Bhola, Punit Kumar: O 7.1
Bichler, Andrea: O 11.8, P 11.8
Biedermann, Maik: O 7.4
Binder, Martin: P 8.10
Birk, Steffen: O 1.8, O 2.3, P 7.1
Birla, Sandhya: P 13.2
Birner, Tania: O 9.5
Blechschmidt, Lisa: O 8.8
Blum, Philipp: O 5.5, O 14.5, O 15.7
Börke, Peter: O 7.2
Böttcher, Fabian: P 12.4
Böttcher, Steven: O 14.6
Botter, Gianluca: P 1.3
Bozau, Elke: P 4.1, P 4.2, P 11.7
Brand, Lukas: O 4.8
Brandner, Katharina: P 15.1
Brauchler, Ralf: O 4.5
Brehm, Dirk: O 12.7
Brinschwitz, Kathrin: O 7.3
Broda, Stefan: O 2.7
Broholm, Mette: O 13.4
Brünjes, Robert: O 11.8, P 11.8
Brunner, Philip: O 8.7
Brusetti, Lorenzo: O 1.4
Bucher, Kurt: P 12.1
Burghardt, Diana: P 2.7, P 8.10
Burke, Victoria: O 14.2
Burkhard, Schneider: O 9.4
Butscher, Christoph: O 15.7

C

Carrera, Jesús: P 11.3
Causapé, Jesus: O 15.4
Celegon, Elisa Alessi: P 1.3
Celico, Fulvio: P 1.6
Chagneau, Aurélie: P 4.7

Chahar, Bhagu Ram: P 13.2
Chandrajith, Rohana: P 2.10
Chauhan, Swarup: O 12.4
Christine, Kübeck: P 9.3
Christoph, Spötl: O 1.7
Cirpka, Olaf: O 8.2, O 13.1, O 15.4, O 15.8
Cirpka, Olaf A.: P 13.1
Claret, Francis: P 4.7
Clos, Patrick: O 2.7
Comiti, Francesco: O 1.4
Cremer Nils, : O 15.6
Croisé, Jean: O 4.5
Csondor, Katalin: P 8.2

D

Dahmke, Andreas: O 5.1
Dalla-Via, Andreas: O 8.10
Darbha, Gopala: P 4.8
Datel, Josef V.: O 2.10
de La Vaissière, Rémi: O 4.5
Delfs, Jens: O 5.1
Deng, Li: P 6.1
Dethlefsen, Frank: O 5.1
Dietrich, Peter: O 5.1, P 8.10
Dietzel, Martin: O 2.3
Dimier, Alain: P 12.7
Dinse, Silvia: O 9.5, P 8.9
Dippenaar, Matthys A.: P 2.9
Disse, Markus: O 7.1
Doulatyari, Behnam: P 1.3
Doummar, Joanna: P 2.4
Drefke, Christoph: P 3.1
Droste, Björn: P 5.8
Drosten, Christian: P 6.1
Drumm, Andreas: O 3.3
Duennbier, Uwe: O 11.7
Dunger, Volkmar: O 15.9, P 14.6
Durach, Armin: O 13.2, P 13.5
Duscher, Klaus: O 2.7
Duttmann, Rainer: O 5.1

E

Ebert, Markus: O 5.1
Eckert, Dominik: O 8.2
Egli, Lukas: O 12.8
Einsiedl, Florian: O 8.1, P 8.6
Eisendle-Flöckner, Ursula: O 6.4, P 6.2
Elsner, Martin: O 8.2
Elsworth, Derek: O 5.4
Emil, Hildenbrand: O 9.4
Engel, Michael: O 1.4
Engelhardt, Irina: O 9.6, O 13.5
Englert, Andreas: P 8.11
Enzmann, Frieder: O 4.7, O 5.5, O 12.3, P 4.7
Epting, Jannis: O 12.8, O 14.3
Erőss, Anita: P 8.2
Escher, Peter: O 9.1
Esposito, Alfonso: O 1.4

F

Fanton, Pietro: P 1.3
Feichtmayer, Judith: P 6.1
Feige, Sebastian: P 5.3
Fernandez-Steeger, Tomás Manuel: P 13.3
Fleckenstein, Jan H.: P 9.1
Flittner, Manfred: O 13.2, P 13.5
Flügge, Judith: P 2.9, P 4.3
Frei, Sven: O 9.2, P 8.5, P 9.2
Freund, Holger: O 15.11
Freye, Sebastian: P 8.11
Fuchs, Lothar: O 14.1
Führböter, Jens: O 8.6
Führböter, Jens F.: O 4.9

G

Gabiri, Geofrey: O 2.4
Garitte, Benoit: O 4.4
Gassen, Niklas: O 9.3
Gautschi, Andreas: O 4.2
Geckeis, Horst: O 4.1, O 4.7
Gedeon, Dagan: O 8.5
Gehrke, Anne: P 4.3
Georg, Teutsch: O 8.5
Gerber, Christoph: O 8.7
Geyer, Tobias: O 11.2
Ghergut, Julia: P 4.4, P 5.1
Gilfedder, Ben: P 9.2
Gilfedder, Benjamin: P 8.5
Gillbricht, Christian: P 14.3
Giorgio, Höfer-Öllinger: O 1.7

Gitter, Martin: O 15.3
Göbel, Patricia: O 15.10, P 2.8
Goettsche, Frank-M.: O 14.5
Gökpinar, Thorsten: P 8.11
Goldscheider, Nico: O 2.2, O 8.8, O 11.9, P 2.2, P 8.2
Göppert, Nadine: P 2.2
Görke, Uwe: O 5.1
Graf, Thomas: O 14.1, P 14.2
Grathwohl, Peter: O 13.4
Greskowiak, Janek: O 11.10, O 13.3, O 14.2, O 15.1, O 15.11
Griebler, Christian: O 6.1, O 9.3, P 6.1
Grimmeisen, Felix: O 2.2, O 11.9
Gruber, Georg: O 1.8
Gruetzmacher, Gesche: O 11.7
Gudera, Thomas: O 13.2, P 13.5
Günther, Andreas: O 2.7

H

Haas, Johannes Christoph: P 7.1
Hagemann, Dr. Sven: P 5.3
Hagspiel, B: P 14.5
Hahn, Hans Jürgen: O 6.6
Hajati, Mithra C.: O 2.5
Hamann, Enrico: O 13.3
Hammerl, Markus: P 7.2
Händel, Falk: O 7.2, P 8.10, P 13.2
Hanke, Thomas: O 8.1
Hannappel, Stephan: P 7.3
Hansel, Hubert: O 3.6
Hänsel, Stephanie: O 15.9
Hansen, Carsten: O 9.7
Harum, Till: O 1.1, O 8.10
Haslauer, Claus: O 9.4, O 15.4, O 15.8, P 13.1
Hebig, Klaus: P 4.9
Heck, Christian: P 4.6
Heiland, Karin: O 7.4
Heine, Florian: P 12.3
Heiß, Laura: O 15.2
Hekel, Uwe: O 4.10, P 3.2
Held, Sebastian: O 13.7
Heldmann, Claus-Dieter: O 13.8, P 1.5
Hens, Carmen: P 12.8
Henzler, Aline: O 11.10
Herbrich, Moritz: P 5.6
Herd, Rainer: P 4.5
Hermsdorf, Angela: O 9.5
Hernández, Marta: P 11.3
Herrmann, Martina: O 6.5
Herrmann, Verena: O 3.6
Hess, Katarina: O 12.1
Hilberg, Sylke: O 6.4, P 6.2
Hildenbrand, Emil: O 6.3
Hilgert, Toralf: O 7.3
Hillebrand, Olav: O 11.3, O 11.4
Himmelsbach, Thomas: O 13.7, P 2.3, P 5.5
Hinkofer, Thomas: O 12.1
Hinrichsen, Volker: P 3.1
Höfer-Öllinger, Giorgio: O 1.2, O 1.8
Hofmann, Thilo: O 11.8, O 15.14, P 11.8
Höhn, Philipp: O 11.8, P 11.8
Holt, Tobias: O 15.11
Hopp, Luisa: P 9.2
Hornung, Thomas: O 3.6
Horváth, Ákos: P 8.2
Hötzl, Heinz: O 11.9
Houben, Georg: P 3.3, P 5.5
Huber, Florian: O 4.7, P 4.8
Huggenberger, Peter: O 12.8, O 14.3
Huichao, Sun: O 15.14
Hung, Pham: P 14.4
Hunkeler, Daniel: O 8.3, O 8.4, O 8.7
Huo, Da: O 5.5
Hurding, Gillian: P 2.9
Huss, Adalbert: O 3.2, P 13.4
Huysmans, Marijke: P 12.2

I, J

Ito, Narimitsu: P 4.9
Jacques, Diederik: O 13.5
Janneck, Eberhard: P 2.7
Jayasena, H.A.H.: P 2.10
Jesußek, Anna: O 9.7
Johannsen, Dietmar: O 3.6

K

Kah, Melanie: O 15.14
Kallies, Rene: P 6.1
Kandziora, Jella: P 11.5

Kebede, Seifu: O 2.3
Keilholz, Patrick: O 7.1, P 7.5
Keim, Catharina: P 8.4
Kellerer-Pirklbauer, Andreas: O 1.3
Kersten, Michael: O 12.3, P 4.7
Kettelför, Britta: O 15.5
Keuschnig, Markus: O 1.2
Kiecak, Aleksandra: P 11.6
Kling, Tobias: O 5.5
Klinger, Jochen: O 2.2, P 2.2
Kloth, Johannes: P 14.1
Kludt, Christoph: O 9.6
Klumpp, Erwin: O 13.5
Knabner, Peter: P 2.1
Knorr, Bastian: O 13.6
Knuth, Christoph: P 5.4
Köber, Ralf: O 5.1
Kohl, Thomas: O 5.3, O 5.6, O 13.7
Köhl, Bernhard: P 5.6
Kohlhepp, Bernd: O 6.5
Kolditz, Olaf: O 5.1
König, Christoph M.: O 3.4
König, Diethardt: O 5.1
Konrad, Florian: O 12.2
Kotyla, Patrick: P 7.2, P 8.6, P 12.3
Kozel, Ronald: O 6.2, O 8.9, O 11.6
Kralik, Martin: O 8.7
Kreuzman, Kerstin: O 11.7
Kröger, Kerrin Franziska: P 11.3
Kröhn, Klaus-Peter: O 4.6
Kübeck, Christine: O 9.8
Kuhlman, Kristopher: O 4.8
Kuhn, Dietmar: O 5.6
Kühn, Michael: P 12.8
Kukral, Janik: P 12.2
Kunze, Jörg-Dieter: O 9.5
Kus, Günter: O 1.5
Küsel, Kirsten: O 2.6, O 6.5, P 6.3

L

Lafogler, Mark: O 12.1
Lang, Dr. Ulrich: P 13.5
Lang, Ulrich: O 13.2, P 1.4
Laubrich, Jan: P 2.7
Laudel, Gunnar: P 8.10
Lazar, Cassandre S.: P 6.3
Lechner, Katharina: O 1.2
Lehmann, Robert: O 6.5, P 6.3
Leimer, Sophia: O 9.1
Leis, Albrecht: O 2.3, O 8.10
Lensing, Hermann Josef: P 3.4
Lensing, Hermann-Josef: O 3.4
Leven, Carsten: P 13.1
Lewis, Jeffrey: P 11.2
Licha, Tobias: O 11.1, O 11.2, O 11.3, O 11.4, P 11.2, P 11.3, P 11.7
Liedl, Rudolf: O 7.2, P 8.10, P 13.2
Liesch, Tanja: O 8.8, P 2.2, P 7.4
Limberg, Alexander: O 7.5
Lischeid, Gunnar: O 14.6
Logashenko, Dmitrij: O 4.8
Lorenzen, Gunnar: O 11.7
Loschko, Matthias: O 13.1
Löw, Simon: O 5.2
Lucianetti, Giorgia: P 1.6

M

Machida, Isao: P 4.9
Madé, Benoit: P 4.7
Mádl-Szőnyi, Judit: P 8.2
Maier, Ulrich: O 13.4
Majewsky, Marius: O 11.9
Makselon, Joanna: O 13.5
Maldaner, Carlos: P 2.9
Maloszewski, Piotr: O 13.6
Marui, Atsunao: P 4.9
Massmann, Gudrun: O 11.10, O 13.3, O 14.2, O 15.1, O 15.11
Mastrorillo, Lucia: P 1.6
Matschullat, Jörg: O 15.9, P 14.6
Mayer, K. Ulrich: O 13.4
Mazza, Roberto: P 1.6
Mechal, Abraham: O 2.3
Meier, Christiane: P 8.3
Meißner, Sabine: O 15.9, P 14.6
Mengel, Kurt: P 4.2
Merchán, Daniel: O 15.4
Merk, Markus: P 7.4
Merz, Christoph: O 14.6
Meßer, Johannes: P 2.8, P 7.2

Mettier, Ralph: O 4.5, O 4.9
Mogessie, Aberra: O 2.3
Möhler, Felix: P 8.9
Monninkhoff, Bertram: P 7.5
Montenegro, Héctor: O 8.8
Montoya, Vanessa: O 4.7
Moosdorf, Nils: O 2.5
Muffler, Selina: P 12.5
Müller, Herwig R.: O 4.4
Müller, Matthias H.: O 12.8
Müller, Thomas: O 7.4
Munz, Matthias: P 8.8
Musolff, Andreas: P 9.1

N

Neuweiler, Insa: O 14.1, P 14.2
Niessner, Reinhard: P 12.5
Nießner, Reinhard: P 12.6
Nitschke, Fabian: O 13.7
Nödler, Karsten: O 11.1, O 11.3, O 11.4, P 11.3
Nuber, Thomas: P 3.4
Nusiaputra, Yodha: P 12.7

O

Oberle, Annette: O 12.5
Odenwald, Bernhard: O 3.1
Oehlmann, Sandra: O 11.2
Oelmann, Yvonne: O 9.1
Oelze, Antje: O 9.5
Olesen, Folke S.: O 14.5
Orywall, Pia: O 5.6
Osberghaus, Thomas: O 3.2
Osenbrück, Karsten: P 8.3
Oswald, Sascha: P 8.8

P, Q

Parker, Beth: O 8.3
Pauritsch, Marcus: O 1.3
Pawletko, Nadine: O 9.8
Peche, Aaron: O 14.1
Peiffer, Stefan: O 9.2, P 9.2
Penckwitt, J: P 14.5
Penna, Daniele: O 1.4
Peter, Dietrich: O 8.5
Pfäfflin, Hannes: P 1.4
Philipp, Uta: O 2.7
Possemiers, Mathias: P 12.2
Purtschert, Roland: O 8.7
Putra, Doni P. E.: O 2.5
Putranto, Thomas T.: O 2.5
Qiu, Shiran: O 8.2
Quadflieg, Arnold: P 11.1

R

Rabbel, Wolfgang: O 5.1
Radny, Dirk: P 1.3
Raulf, Jan: P 9.2
Rausch, Randolf: O 2.1
Re, Viviana: P 2.9
Reichel, Susann: P 2.7
Reichert, Barbara: O 2.4, O 15.2
Reichl, Peter: O 1.1
Reichling, Jörg: O 2.7
Rein, Arno: O 8.1, P 8.6
Reinhard, Dr. Michael: P 13.5
Reischer, Markus: O 1.7
Reisinger, Timm: P 4.6
Reiter, Sebastian: O 4.8
Reszler, Christian: O 1.1, O 8.10
Rheinhard, Michael: O 13.2
Richter, Dominik: O 3.6
Richter, Johannes: P 2.7
Riepl, David: O 2.2
Ries, Fabian: P 2.4
Röder, Julia: O 9.8
Rüde, Thomas: P 4.6
Rüde, Thomas R.: O 1.6, O 2.5
Rudolph, David: O 13.1, O 15.4
Rühaak, Wolfram: O 13.8, P 1.2, P 5.7, P 14.4
Rühaak, Wolfram: O 12.4
Rumohr, Sven: O 12.6
Rumpelt, Thomas: O 12.5

S

Sabine, Attinger: O 8.5
Sahara, David: O 5.3
Sakaguchi-Söder, Kaori: P 11.5
Sakaki, Toshihiro: O 4.4
Sämann, Robert: P 14.2
Sanchez-León, Emilio E.: P 13.1

Sass, Ingo: O 13.8, P 1.1, P 1.2, P 1.5, P 3.1, P 3.5, P 5.7, P 14.4
Sass, Ingo: O 12.4
Sauter, Martin: O 11.2, P 2.4, P 5.1
Sawarieh, Ali: P 2.2
Schaber, Annette: O 3.3
Schäfer, Dietmar: P 8.9
Schäfer, Dirk: O 5.1
Schäfer, Thorsten: O 4.7, P 4.7, P 4.8
Schaffer, Mario: P 11.3
Schäffer, Rafael: P 1.1, P 1.5, P 3.5
Schafmeister, Maria-Theresia: P 14.1
Schafrik, Wlad: P 4.5
Schedel, Markus: P 3.1
Scheytt, Traugott: O 11.3, O 11.4, O 15.3, P 4.9
Schiedek, Thomas: P 11.5
Schill, Eva: P 4.8
Schilling, Oliver: O 8.7
Schindler, Florian: O 15.6
Schinzel, Uwe: P 14.1
Schiperski, Ferry: O 11.3, O 11.4, O 15.3, O 15.13
Schirmer, Mario: P 1.3
Schmedding, Hilger: O 9.7
Schmidt, Christian: P 8.7
Schmidt, Kai: P 4.2
Schmidt, Kristina: O 9.5
Schmidt, Roman: P 12.1
Schmidt, Sebastian: P 2.4
Schneider, Anke: O 4.8
Schneidewind, Uwe: P 8.7, P 12.2, P 13.3
Schomburgk, Susanne: O 2.8
Schönwetter, Herbert: P 7.2, P 12.3
Schönwiese, Dr. Dagmar: P 5.3
Schotterer, Ulrich: O 8.9
Schüler, Lennart: P 2.1
Schulte, Peter: O 4.9, O 8.6
Schulze, Marcellus: O 1.5
Schulze, Thomas: P 14.1, P 14.3
Schumacher, Joachim: O 7.4
Schürch, Marc: O 8.9
Schürner, Heide: O 8.2
Schüth, Christoph: O 9.6
Schwarz, Jens-Oliver: O 5.5
Schwarz, Rainer: O 4.5
Schweizer, Daniel: O 15.7
Schwenk, Klaus: O 6.6
Seeber, Paul: O 6.5
Seguin, Jean-Jacques: O 2.8
Seibert, Stephan: O 15.1
Seitz, Hans-Michael: P 8.3
Selmo, Enricomaria: P 1.6
Siegfried, Konrad: P 1.1
Siegmund, Jessica: P 8.11
Sigmund, Gabriel: O 15.14
Simon, Elisabeth: P 2.7
Sinreich, Michael: O 6.2, O 8.4, O 11.6
Söhlmann, Reiner: O 13.2, P 13.5
Somogyi, Gabriella: O 12.1
Somogyi, Gabriella Zsófia: O 14.4
Sparrenbom, Charlotte: P 11.2
Spönemann, Peter: O 14.1
Spörlein, Timo: O 1.5
Spötl, Christoph: O 1.2
Stange, Claudia: O 11.5
Stärk, Hans-Joachim: P 11.7
Stefan, Wyhlidal: O 1.7
Stegner, Johannes: P 3.1
Stemke, Marion: O 3.5
Stephan, Klotzsch: P 8.10
Stober, Ingrid: P 12.1
Stoll, Madeleine: P 4.8
Stoll, Wenke: P 6.3
Straßer, Daniel: O 8.8
Strick, Daniela: O 15.12
Striegel, Dr. Gabriel: P 13.5
Striegel, Gabriel: O 13.2
Stumpp, Christine: O 2.4, O 9.3, O 13.6, P 11.6
Stuyfzand, Pieter J.: O 13.3
Subah, Ali: O 2.2
Suciu, Nicolae: P 2.1
Sültenfuß, Jürgen: O 8.6, P 8.1
Surbeck, Heinz: P 8.2
Szőcs, Teodóra: O 2.9

T

Teichmann, Rudolf-Karl: O 13.2, P 13.5
Theresia, Heißerer: O 9.4
Thesenvitz, Carolin: O 15.4
Thomas, Baumann: P 12.6
Thomas, Kohl: P 12.7

Thöny, Reto: O 4.5
Tiehm, Andreas: O 11.5, O 11.9
Timmer, Harrie: O 13.3
Tirler, Werner: O 1.4
Tomsu, Christian: P 7.5
Totsche, Kai Uwe: O 2.6, O 6.5, P 6.3
Totskiy, Yuri: O 4.7
Tranter, Morgan: O 15.13
Trauth, Nico: O 9.3, P 9.1
Tritschler, Felix: O 7.2
Trumbore, Susan: O 2.6
Trumm, Michael: O 4.7

U, V

Ueckert, Martina: P 12.5, P 12.6
Vaitl, Tobias: P 5.2
van Berkel, Matthijs: P 8.7
van den Berg-Stein, Susanne: O 6.6
Vandersteen, Gerd: P 8.7
van der Weem, Jonas: O 15.10
van Geldern, R: P 14.5
van Geldern, Robert: P 2.10
Vereecken, Harry: O 13.5
Verleger, Hartmut: O 7.5
Vietor, Tim: O 4.4
Vladimir, Cvetkovic: O 8.5
Vogel, Andreas: O 4.8
Vogel, Jochen: P 1.4
Vogler, Daniel: O 5.4
Vogt, Tobias: O 4.4
von Daacke, Ute: O 9.5
von Kalben, Irmgard: P 14.3
Voss, Ina: P 4.1, P 4.2
Voutta, André: O 12.5

W

Wagner, Bernhard: P 2.6, P 11.1
Wagner, Thomas: O 1.3, O 2.3
Wagner, Valentin: O 12.7
Walter, Thomas: P 2.6, P 11.1, P 11.4
Wang, Weishi: P 8.8
Wanner, Philipp: O 8.3
Weidner, Christoph: P 5.5
Weinert, Sebastian: P 5.7
Weise, Stephan M.: P 8.3
Wenderoth, Frank: O 12.1
Wenka, Achim: O 4.7
Werker, Henning: P 7.6
Wieber, Georg H. E.: O 12.3
Wiegand, Bettina: P 11.7
Wilcke, Wolfgang: O 9.1
Wilde, Siegfried: O 9.7
Wilhelm, Susann: O 7.4
Wilke, Sascha: O 15.5
Winkler, Gerfried: O 1.3, O 2.3
Wismeth, Carina: P 12.5
Wisotzky, Frank: O 9.8, O 15.5, O 15.6, P 5.8
Wöhling, Thomas: O 13.1
Wohnlich, Stefan: O 1.6, O 3.5, P 5.2, P 5.4, P 5.8
Wolf, Leif: O 11.9
Wolfgang, Feuerstein: O 9.4
Wunderlich, Anja: O 8.1, P 8.6
Würdemann, Hilke: O 5.1

X, Y, Z

Xanke, Julian: O 2.2, P 2.2
Yadav, Prabhas Kumar: P 13.2
Yoram, Rubin: O 8.5
Zagler, Georg: O 1.8
Zarda, Stefan: O 12.7
Zech, Alraune: O 8.5
Zeilfelder, Sarah: P 4.9
Zemann, Moritz: O 11.9
Zhou, Dan: O 13.5
Ziesche, Michael: O 9.5
Zimmermann, Stephanie: O 11.6
Zirlewagen, Johannes: O 11.3, O 11.4, O 15.3, O 15.13
Zosseder, Kai: O 14.4, P 7.2, P 8.6, P 12.3, P 12.4
Zühlke, Karsten: P 8.9

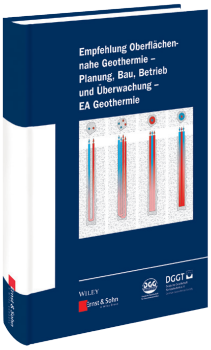
Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH

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

Ernst & Sohn
A Wiley Brand



Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. / Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften e. V.
Empfehlung Oberflächennahe Geothermie – Planung, Bau, Betrieb und Überwachung – EA Geothermie
2014. 300 S.
€ 99,–*
ISBN 978-3-433-02967-1
Auch als ebook erhältlich

Eine Arbeitshilfe für die geothermische Nutzung des Untergrunds

Die Empfehlungen fassen den Stand der Technik zusammen. Das Ziel ist die fachgerechte Erschließung des Untergrunds für geothermische Zwecke sowie die Vermeidung von Schäden für den Boden und das Grundwasser einerseits und für den Betrieb der Anlage sowie der Bebauung andererseits.
Die Empfehlungen sollen als Arbeitshilfe die optimale und nachhaltige geothermische Nutzung des Untergrunds am konkreten Standort in Beratung, Planung, Bauausführung und Betrieb begleiten.

Online Bestellung:
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG

Kundenservice: Wiley-VCH
Boschstraße 12
D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400
Fax +49 (0)6201 606-184
service@wiley-vch.de

* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten. Irrtum und Änderungen vorbehalten. 1084126_dp

HPC
DAS INGENIEURUNTERNEHMEN

Für die Umwelt.
Für die Menschen.

Flächenrecycling
Umweltberatung
Infrastrukturplanung

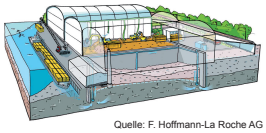
Bauvorhaben im Grundwasser?

Wir analysieren...

- Hydrogeologische und geotechnische Erkundung
- Pumpversuche und Bohrlochtests bis 400 m Tiefe
- Aquifersystemanalyse und Kennwertermittlung
- Numerische Grundwassermodelle

... und finden maßgeschneiderte Lösungen.

- Gründung
- Bauwasserhaltung
- Altlastensanierung
- Monitoring



Quelle: F. Hoffmann-La Roche AG

INOGEN

Unsere Spezialisten stehen Ihnen mit Rat und Tat zur Seite. Jederzeit erreichbar. Überall.

HPC AG
Schütte 12 - 16
72108 Rottenburg

+49 7472 158 0
+49 7472 158 111
rottenburg@hpc.ag

Weitere Informationen finden Sie im Internet:
https:\\www.hpc.ag

consulting

GKW Consult has been developing and implementing projects and advisory services for public an private Clients for more than 60 years in close to 80 countries.

With more than 240 experts worldwide, GKW Consult ranks as one of the leading German consulting companies engaged in environmental engineering, water supply, wastewater treatment and disposal, solid waste management, regional development and management support.

gkw CONSULT

GKW Consult GmbH
Augustaanlage 67 • 68165 Mannheim • www.gkw-consult.com

REINE FRISCHE.
GANZ NATÜRLICH.

Karlsruher Trinkwasser

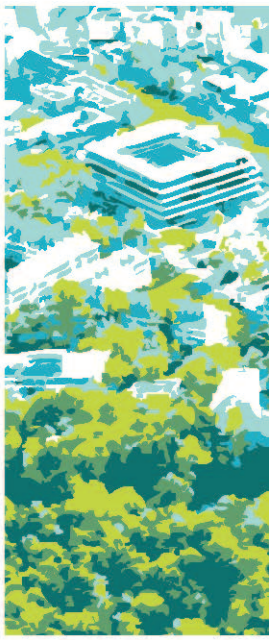
Wasser ist die Grundlage allen Lebens. Mit wertvollen Mineralien wie Calcium und Magnesium. Es steht seit Generationen für Erfrischung mit unverfälschter Natürlichkeit und Verträglichkeit. Die Stadtwerke Karlsruhe versorgen Stadt und Region mit hochwertigem Trinkwasser, das höchste Qualitätsmaßstäbe erfüllt. Jetzt und in Zukunft verlässlich und sicher.

STADTWERKE KARLSRUHE

VERSORGUNG MIT VERANTWORTUNG

www.stadtwerke-karlsruhe.de

Unter dem Titel „Grundwasser – Mensch – Ökosysteme“ findet vom 13. - 17. April am KIT in Karlsruhe die 25. Tagung der FH-DGGV statt. Die vielfältigen Aspekte dieses Themas werden in 13 regulären thematischen Sessions und im Forum Junger Hydrogeologen intensiv diskutiert. Abgerundet wird das Programm durch drei spannende Keynote-Lectures und eine populärwissenschaftliche Abendveranstaltung sowie Fortbildungskurse am Tag vor der Konferenz und Exkursionen im Anschluss an die Tagung. Der Tagungsband enthält neben Programmhinweisen die Kurzfassungen der rund 200 Vorträge und Posterbeiträge, zusammen mit einer Liste der Teilnehmer und Autoren. Registrierten Teilnehmern steht der Band zusätzlich in elektronischer Form auf der Webseite der Konferenz zur Verfügung.



Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Angewandte Geowissenschaften

FH-DGGV

Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft – Geologische Vereinigung e.V.

ISBN 978-3-7315-0475-7