



FH-DGG

**Grundwasser
trifft Boden und Energie**

**Groundwater
meets Soil and Energy**

**Tagung der Fachsektion Hydrogeologie
in der DGG**

**Universität Bayreuth
28. - 31. Mai 2014**

Tagungsband Book of Abstracts

**ONLINE VERSION
Stand 27.05.2014**

Stefan Holzheu, Ruth Kaufmann-Knoke & Birgit Thies (Hrsg.)

Changes since printing of book of abstracts

Room Changes:

Wednesday:

Session 15: H36, NW III

Thursday:

Session 3 and 12: H19, NW II

Friday:

Session 6: H19, NW II

Oral Presentations:

Wednesday:

O 15.8 canceled. O 15.7 starts 20 minutes later

Friday:

O 13.4 is replaced by Ralf Klingbeil et al.: Recent Developments and Activities Related to Groundwater at National Level and Shared Aquifers Between Countries in Middle East and North Africa

O 6.15 canceled. O 6.16 starts 20 minutes earlier

Poster:

New:

P 12.8 Phillip Grimm et al.: Einfluss klimatischer Extreme auf die Begutachtung von Altlaststandorten

Canceled:

P 1.10, P 9.1, P 10.3, P 10.7, P 10.8, P 15.2

Inhaltsverzeichnis

Changes since printing of book of abstracts.....	2
Room Changes:.....	2
Oral Presentations:.....	2
Poster:.....	2
Programm.....	4
Wednesday, 28.05.2014.....	4
Thursday, 29.05.2014.....	5
Friday, 30.05.2014.....	8
Saturday, 31.05.2014.....	11
List of Sessions.....	11
Keynotes.....	12
1 Numeric simulation of flow and transport processes in aquifers and adjacent compartments....	15
Oral Presentations.....	15
Poster.....	29
2 Hydrogeology of hard and jointed rock / Groundwater and karst.....	38
Oral Presentations.....	38
Poster.....	46
3 From atmosphere to groundwater – hydrology of the vadose zone.....	59
Oral Presentations.....	59
Poster.....	66
4 Alpine hydrogeology.....	71
Oral Presentations.....	71
Poster.....	77
5 Geophysical methods in hydrogeology.....	80
Oral Presentations.....	80
Poster.....	85
6 Groundwater, soil and surface water interactions.....	91
Oral Presentations.....	91
Poster.....	106
8 Geothermal energy und geocooling.....	128
Oral Presentations.....	128
Poster.....	138
9 Urban hydrogeology.....	150
Oral Presentations.....	150
Poster.....	155
10 Hydrogeology of arid zones.....	165
Oral Presentations.....	165
Poster.....	172
11 Subsurface storage of heat, energy and carbon.....	179
Oral Presentations.....	179
Poster.....	188
12 Groundwater quality.....	201
Oral Presentations.....	201
Poster.....	211
13 Czech-German exchange on environmental-, soil- and hydro(geo)logical issues.....	223
Oral Presentations.....	223
Poster.....	233
14 Fracking for energy and its role for groundwater and soils.....	237
Oral Presentations.....	237
15 Forum of Young Hydrogeologists (H 36, NW III).....	241
Oral Presentations.....	241
Poster.....	253
List of Authors.....	260

Programm

Wednesday, 28.05.2014				
Time	S 59, RW I	S 1.81, RW II	H 36, NW III	K4
10:00	<p>Workshop: Stabile Isotope in der Hydrogeologie</p> <p>-> S 59, Building RW I</p>	<p>Workshop: PhreeqC – Hydrogeo- chemische Modellierung</p> <p>-> S 1.81, Building RW II</p>		
12:00			<p>"Forum of Young Hydrogeologists (H 36, NW III)"</p> <p>Chair: Schulze, Marcellus ;</p> <p><u>O 15.1: Marton Berta et al.:</u> Scaling the Geochemical Effects of Potential Gas Leakages from Deep Underground Storage Systems into Shallow Aquifers</p>	
12:20			<p><u>O 15.2: Martin Binder et al.:</u> Untersuchungen zum Sorptionsverhalten von Alkylphenolen</p>	
12:40			<p><u>O 15.3: Thomas Gläßer et al.:</u> Bewertung eines Schadensfalls mit leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen im Stadtgebiet Nürnberg</p>	
13:00			<p><u>O 15.4: Daniel Dirnberger:</u> Hydrogeologie am Nordrand des Tauernfensters, Rauris, Kolm-Saigurn, Salzburg</p>	
13:20			<p><u>O 15.5: Kennedy O. Doro et al.:</u> Salt tracer and 3-D time-lapse electrical resistivity tomography imaging – a field test for optimum spatial and temporal resolution</p>	
13:40			<p><u>O 15.6: Cordula Dörr et al.:</u> Bewertung von Wärmeträgerfluidleckagenen aus Erdwärmesonden auf Grundlage vorhandener Daten und numerischer Modellsimulationen</p>	
14:00			<p>Coffee break and poster session</p>	
15:20			<p><u>O 15.7: Sandip Chaudhary et al.:</u> Contaminant plumes are finite – even in 2D laboratory experiment?</p>	
15:40			<p><u>O 15.9: Martin Jung et al.:</u> Grundwassertemperaturen im Limmattal-Grundwasserleiter in Zürich - Eine urbane Wärmeinsel in einem dynamischen hydrogeologischen System</p>	
16:00			<p><u>O 15.10: Nicolas Koproch et al.:</u> Der Einfluss der Temperatur auf das CKW-Freisetzungverhalten bei oberflächennaher Wärmespeicherung</p>	
16:20			<p><u>O 15.11: Johannes Meyer:</u> Hydrogeologische- und Strukturgeologische Untersuchungen im Reichraminger Hintergebirge</p>	
16:40			<p><u>O 15.12: Johanna Rüter et al.:</u> Hydraulische Charakterisierung verschiedener Kunststoffbrunnenfiltertypen für oberflächennahe Anwendungsgebiete im Feld und Labor</p>	
17:00	<p><u>O 15.13: Cornelia Steiner:</u> Berechnung von Temperaturfahnen im Grundwasser am Beispiel zweier Grundwasserwärmepumpen in Lienz, Österreich</p>			
17:20				
18:00	<p>Icebreaker and registration in building NW II</p>			
21:00				

Thursday, 29.05.2014				
Time	H17, NW II	H18, NW II	H19, NW II	K4
08:00	Registration in building NW II			
08:30	Conference opening (Audimax)			
09:00	Keynote I - Frank Schwartz: Folk Beliefs and Fracking Building Audimax			
09:40	(Changing rooms: Audimax -> NW II)			
10:00	"Hydrogeology of hard and jointed rock / Groundwater and karst" Chair: Sauter, Martin O 2.1: Steffen Birk et al.: Schwellenwerte in Karstgrundwasserleitern am Beispiel der Hammerbachquelle (Österreich)	"Geothermal energy und geocooling" Chair: Kuntz, David; Schulze, Marcellus O 8.1: Sophie Schelenz et al.: Ansatz zur optimierten Bewirtschaftung intensiv geothermisch genutzter Flächen - Vorerkundung und Szenarienanalyse	"From atmosphere to groundwater – hydrology of the vadose zone" Chair: Durner, Wolfgang; Totsche, Kai Uwe O 3.1: Wolfgang Durner: Die Hydrologie der vadosen Zone: Stand der Dinge	
10:20	O 2.2: Markus Giese et al.: Anwendung von Hybridmodellen zur großskaligen Charakterisierung von Karsteinzugsgebieten durch die systematische Analyse von Großpumpversuchen	O 8.2: Valentin Wagner et al.: Hydraulische Charakterisierung von Aquiferen über den Thermal Response Test: Validierung in Tank- und Feldexperimenten	O 3.2: Thomas Baumann et al.: In situ Analysis of Pore Scale Processes at Biogeochemical Interfaces	
10:40	O 2.3: Nico Goldscheider et al.: Das „World Karst Aquifer Mapping Project“ (WOKAM)	O 8.3: Andreas Darsow et al.: Anwendung numerischer Simulationen bei der Planung von Erdwärmeeanlagen am Beispiel von Infrastrukturprojekten in Österreich	O 3.3: Christine Stumpp et al.: Water flow and solute transport under dynamic water table conditions in different porous media	
11:00	Coffee break			
11:20	O 2.4: Bernd Hanauer: Auswirkungen von Hangzerreißungsklüften auf die Grundwasserströmung im Buntsandstein	O 8.4: Susanne Casper et al.: Sensitivitätsanalyse von BHT-Korrekturverfahren zur Temperaturprognose in der Tiefengeothermie	O 3.4: Issa Hasan et al.: Untersuchung der Reinigungsleistung der ungesättigten Bodenzone bei dezentraler Abwasserversickerung anhand physikalischer und numerischer Modelle	
11:40	O 2.5: Sandra Oehlmann et al.: Reduktion der Mehrdeutigkeit der numerischen Strömungs- und Transportmodellierung heterogener Karstsysteme	O 8.5: Susanne Benz et al.: Anthropogene Wärmeflüsse in das Grundwasser von Karlsruhe und Köln	O 3.5: Frank Herrmann et al.: Simulation des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung in Niedersachsen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA	

12:00	O 2.6: Thorsten Schäfer et al.: The latest results on colloid associated radionuclide mobility from the CFM project, Grimsel (Switzerland)	O 8.6: Christian Anibas et al.: Modellmäßige Bewertung des Potentials von saisonaler Grundwasserwärmespeicherung als Ökosystemdienstleistung für die Hauptstadtregion Brüssel, Belgien	O 3.6: Hartmut Holländer et al.: Groundwater Recharge Modelling using Low-Cost Measurement Technique
12:20	O 2.7: Wolfgang Ufrecht: Tiefenwässer im Aquifersystem Oberer Muschelkalk zwischen Stuttgart und der Schwäbischen Alb – eine konzeptionelle Modellstudie	O 8.7: Robert Lehmann et al.: Biogeothermie - Wirkt sich der Nutzwärmeentzug auf Prozesse und Eigenschaften kontaminierter Aquifere aus?	"Groundwater quality" Chair: Peiffer, Stefan; Isenbeck-Schröter, Margot O 12.1: Manuela Huebsch et al.: Auswirkung landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf Nitratkonzentrationen in einem Karstgrundwasserleiter in Irland
12:40	O 2.8: Matthias Willmann et al.: Particle Tracking in heterogenen geklüfteten sedimentären Formationen – Anwendung auf die Effinger Schichten	O 8.8: Sven Rumohr: Geothermische Anomalie von Frankfurt am Main	O 12.2: Doreen Mäurer et al.: Approach to estimate the nitrate degradation capacity of deep porouse aquifer at two waterworks in the Lower Rhine Valley
13:00	Lunch break		
14:00	"Geophysical methods in hydrogeology" Chair: Bitzer, Klaus; Rauen, Armin O 5.1: Peter Halla: Thermo-Flowmeter-Monitoring - Hochauflösende Messungen von vertikalen Strömungsgeschwindigkeiten	"Subsurface storage of heat, energy and carbon" Chair: Bauer, Sebastian; Dahmke, Andreas O 11.1: Frank Dethlefsen et al.: Auswirkungen der Nutzung des geologischen Untergrundes als thermischer, elektrischer oder stofflicher Speicher im Kontext der Energiewende - Dimensionierung, Risikoanalysen und Auswirkungsprognosen	O 12.3: Florian Einsiedl et al.: Neue Einblicke in die Mechanismen der Isotopenfraktionierung bei der Denitrifikation
14:20	O 5.2: Thomas Vienken et al.: Vergleich verschiedener Verfahren zur Wassergehaltsbestimmung unter Feldbedingungen	O 11.2: Steven Henkel et al.: Large-scale, long-term Storage of Energy transformed into Hydrogen – what will happen in the geological Underground?	O 12.4: Stephan Hannappel et al.: Fundstellenaufklärung an 35 Grundwassermessstellen in Mecklenburg-Vorpommern hinsichtlich Nitrat, Ammonium und Pflanzenschutzmittelwirkstoffen
14:40	O 5.3: Nils Gueting et al.: Imaging and characterization of spatial connectivity in a heterogeneous alluvial aquifer	O 11.3: Thomas Kempka et al.: Geothermal heat production and synergetic carbon storage supported by salinisation early warning - the results of the brine project	O 12.5: Christine Kübeck et al.: Prognosemodelle zur Erfassung von Entwicklungstrends in der Grundwasserqualität unter den Bedingungen einer sich wandelnden Umwelt
15:00	O 5.4: Sven Rumohr: Der Umgang staatlicher Geologischer Dienste mit der Wünschelrute im 20. Jahrhundert	O 11.4: Martin Nowak et al.: Well-based stable carbon isotope leakage monitoring of the first aquifer overlying the CO2 storage reservoir at the Ketzin pilot site, Germany	O 12.6: Andreas Fritzsche et al.: Injection of nanosized iron oxides into aquifers

15:20	<p>"Urban hydrogeology"</p> <p>Chair: Einsiedl, Florian; Zoßeder, Kai</p> <p>O 9.1: Wolfgang Gossel et al.: Geologische 3D-Modellierung des Stadtgebietes Magdeburg: Festgestein mit Störungen und Lockergesteinsbedeckung</p>	<p>O 11.5: Said Attia al Hagrey et al.: Geophysical monitoring of leakages in shallow groundwater from deep compressed air energy storage</p>	<p>O 12.7: Andreas Musolff et al.: Exportverhalten gelöster Stoffen aus Einzugsgebieten</p>	
15:40	<p>O 9.2: Alexander Limberg et al.: Auswirkungen der Urbanisierung und des Klimawandels auf das oberflächennahe Temperaturfeld von Berlin</p>	<p>O 11.6: Wolfram Rühak et al.: Optimierung eines mitteltiefen Erdwärmesondenspeichers</p>	<p>O 12.8: Wolfgang Ufrecht et al.: Hydrogeologisches System- und Prozessverständnis zur Beurteilung komplexer LHKW-Kontaminationen im urbanen Raum (Projekt MAGPlan, Stuttgart)</p>	
16:00	<p>O 9.3: Felix Grimmeisen et al.: Auswirkungen des urbanen Wasserkreislaufs auf die $\delta^{18}O/\delta^2H$ Isotopensignatur eines Karstaquifers im semi-ariden Klima Nord-Jordaniens</p>	<p>O 11.7: Steffi Popp et al.: Einfluss zyklischer Wärmespeicherung auf Transport- und Reaktionsprozesse im oberflächennahen Untergrund</p>	<p>O 12.9: Ulrich Lang et al.: Nachbildung der LCKW-Schadstofffahnen im Stuttgarter Untergrund mit einem reaktiven Multispezies-Modell: Identifizierung von Schadensherden (Projekt MAGPlan, Stuttgart)</p>	
16:20	<p>O 9.4: Arno Rein et al.: Soil sorption and biodegradation of PAH: model-based analysis of kinetics and the influence of soil amendments</p>	<p>O 11.8: Hilke Würdemann et al.: Einfluss mikrobieller Stoffwechselprozesse auf den Betrieb saisonaler Speicher und deren Bedeutung für die Umwelt</p>	<p>O 12.10: Ondrej Sracek et al.: Geochemistry of thermal waters in the northeastern part of the Eger Rift, Czech Republic: implications for ^{14}C dating</p>	
16:40	Poster session			
17:30	General meeting of the FH-DGG
19:00				
19:30				
19:40	-			
20:00	Conference dinner at the Herzogkeller			

Friday, 30.05.2014				
Time	H17, NW II	H18, NW II	H19, NW II	K4
08:00				
08:30	Conference office open in building NW II			
09:00	Keynote II - Poul L. Bjerg: Assessing the risks posed by contaminated sites to water resources Audimax			
09:40	Award session of the FH-DGG (in German) Audimax			
10:40	Coffee break			
11:00	"Numeric simulation of flow and transport processes in aquifers and adjacent compartments" Chair: Cirpka, Olaf; Liedl, Rudolf <u>O 1.1: Steffen Birk et al.:</u> Implementierung der Forchheimer-Gleichung in MODFLOW	"Czech-German exchange on environmental-, soil- and hydro(geo)logical issues" Chair: Johannes Barth; Wagner, Bernhard; Krám, Pavel <u>O 13.1: Anna Katharina Böhm et al.:</u> Ziel 3/ Cíl 3 – Project 'GRACE' – a project aiming to clarify the phenomenon of declining groundwater levels in two Czech-Saxon boarder regions	"Groundwater, soil and surface water interactions" Chair: Fleckenstein, Jan; Schmidt, Christian <u>O 6.1: Gunnar Lischeid et al.:</u> The soil-groundwater-stream continuum: Measurements and implications	
11:20	<u>O 1.2: Rui Hu et al.:</u> Numerische Inversionstechniken zur hochauflösenden Bestimmung von hydraulischen Parametern auf der Dekameterskala	<u>O 13.2: Diana Burghardt et al.:</u> d18O and d2H Isotope Ratio Analysis as a Contribution to the Clarification of Groundwater Dynamic in the Czech-German Borderland	<u>O 6.2: Martin Šanda et al.:</u> Flow processes in headwater catchment using a combined hydrological, hydrochemical and isotopic approach	
11:40	<u>O 1.3: Christoph Butscher:</u> Einfluss hydrogeologischer Parameter auf das Quellen anhydritführender Tonsteine im Tunnelbau	<u>O 13.3: Pavel Čermák:</u> The soil monitoring along the Czech and Bavaria border	<u>O 6.3: Florian Jenn et al.:</u> Auswirkungen einer über 10-jährigen Vernässung eines Bruchwalds mit gereinigtem Abwasser	
12:00	<u>O 1.4: Olaf Cirpka et al.:</u> Dreidimensionale Quermischung in Heterogenen Grundwasserleitern	<u>O 13.4: Ralf Klingbeil et al.:</u> Recent Developments and Activities Related to Groundwater at National Level and Shared Aquifers Between Countries in Middle East and North Africa	<u>O 6.4: Dimmie Hendriks et al.:</u> The Lowland Groundwater Surface water Interaction model: a new runoff model for high flow and low flow conditions	
12:20	<u>O 1.5: Joachim Drießen et al.:</u> PHREASIM - Numerische Simulation und Einsatz zur Validierung von Messungen der Grundwasserfließbewegung in Grundwassermessstellen	<u>O 13.5: Klaus Duscher et al.:</u> The „International Hydrogeological Map of Europe 1 : 1,500,000“ - Print map and digital dataset provide a continent-wide overview of groundwater conditions	<u>O 6.5: Peter Vermeulen et al.:</u> Coupling of a surface water- and groundwater flow model to compute bank storage effects in wetlands along the Elbe-Havel Channel on different grid resolutions	

12:40	O 1.6: Falk Händel et al.: Anwendung von Brunnen mit geringen Durchmessern für die künstliche Grundwasseranreicherung	O 13.6: Edzard Hangen et al.: Mobility of SO ₄ , Pb, and Zn in acidic forest soils of the Czech-Bavarian border region	O 6.6: Uli Maier et al.: Modellierung des Grundwasser-Oberflächenwasseraustausches und dessen Auswirkungen auf die Grundwasserqualität	
13:00	Lunch break			
14:00	O 1.7: Aline Henzler et al.: Numerische Modellierung der saisonalen Redox-Dynamik in einer Uferfiltrationstransekte, Tegel, Berlin	O 13.7: Pavel Kram et al.: Water chemistry in three Czech monolithologic and geochemically contrasting catchments	O 6.7: Gudrun Massmann et al.: Temperaturabhängiger Abbau abwasserbürtiger Spurenstoffe in der hyporheischen Zone	General meeting of the IAH
14:20	O 1.8: Florian Huber et al.: Np(V) migration in a single fracture from Äspö, Sweden: Experiments and reactive transport modeling	O 13.8: Jiri Mikes et al.: Removal of HCH from contaminated subsurface by the technology based on iron reducing bacteria	O 6.8: Maïke Gröschke et al.: Development of Ammonium Concentrations at a Riverbank Filtration Site in Delhi (India) – Water-Sediment Interactions from Infiltration to Production	
14:40	O 1.9: Junfeng Luo et al.: Einsatz von ständig verfügbaren Modellen zur Gewährleistung der Trinkwasserversorgung in Berlin	O 13.9: Matthias Zeithöfler et al.: Bedrock structure and ground water migration in the eastern Bavarian crystalline basement	O 6.9: Thomas Demmel et al.: Abgrenzung von Belastungsschwerpunkten mit Uran im Grundwasser in Südbayern	
15:00	O 1.10: Ulf Mohrlök: Numerische Modellierung der Grundwasserströmung im Einzugsgebiet der Gallusquelle unter Festlegung eines Drainagesystems	"Fracking for energy and its role for groundwater and soils" Chair: Johannes Barth; Schwartz, Frank; Elsner, Martin O 14.1: Johann-Gerhard Fritsche et al.: Shale Gas Exploration Licenses: Geological and Hydrogeological Situation in the State Hessen, Germany	O 6.10: Andrea Bichler et al.: Identification of surface water infiltration in a shallow unconfined aquifer using artificial sweeteners as waste water markers	
15:20	O 1.11: Klaas Stoepker et al.: Großräumige Grundwassermodellierung zur Erkundung alternativer Grundwassergewinnungsgebiete in einem wasserwirtschaftlich intensiv genutzten Raum.	O 14.2: Martin Sauter et al.: Development of Shale Gas by Hydraulic Fracturing - Risk Assessment for Surface and Groundwater	O 6.11: Christian Skark et al.: Der künstliche Süßstoff Acesulfam als Tracer für Oberflächenwassereinfluss im Uferfiltrat	
15:40	O 1.12: Katharina Vujevic et al.: Thermohaline Konvektion in gering durchlässigen Kluffeststeinen	O 14.3: Frank-Andreas Weber et al.: Water-Related Risks of Exploration and Exploitation of Unconventional Natural Gas Deposits in the River Ruhr Watershed	O 6.12: Robert van Geldern et al.: Outgassing of carbon dioxide from a karst river – insights into the carbon cycle from stable isotopes of dissolved inorganic carbon	
16:00	Poster session and coffee break			

17:20	<p>"Hydrogeology of arid zones"</p> <p>Chair: Rausch, Randolph; Schüth, Christoph</p> <p>O 10.1: Tilman Mieseler et al.: Zur Hydrogeologie der Rub' Al Khali Wüste in Saudi Arabien</p>	<p>"Alpine hydrogeology"</p> <p>Chair: Goldscheider, Nico; Schirmer, Mario; Benischke, Ralf</p> <p>O 4.1: Ute Lauber et al.: Künstliche und natürliche Tracer zur Bestimmung der Fließzeiten und Entwässerungssysteme in einem hochalpinen Karstgebiet, Wettersteingebirge (Bayerische Alpen)</p>	<p>O 6.13: Uwe Schneidewind et al.: Bestimmung von vertikalen Grundwasser-Oberflächenwasseraustauschraten mittels Temperaturzeitreihenanalyse am Beispiel des Sloopbeek</p>	
17:40	<p>O 10.2: Johannes Riegger et al.: Characterization of water storage dynamics in arid areas by satellite gravimetry</p>	<p>O 4.2: Harald Kunstmann et al.: Flächendifferenzierte Wasserhaushaltsmodellierung im hochalpinen Terrain: Berücksichtigung von Schneehydrologie und Karstprozessen am Beispiel des Nationalpark Berchtesgaden</p>	<p>O 6.14: Julia Knapp et al.: Quantifizierung hyporheischer Austauschprozesse mittels konservativer und reaktiver Tracerversuche</p>	
18:00	<p>O 10.3: Edda Kalbus et al.: Can smart irrigation technologies reverse saltwater intrusion in an arid area coastal aquifer?</p>	<p>O 4.3: Sylke Hilberg et al.: Errichtung und Schutz nachhaltiger Trinkwasserversorgungen in alpinen Tälern, Fallbeispiel Ebene Reichenau (Kärnten)</p>	<p>O 6.16: Tania Röper et al.: Identifikation, Quantifizierung und Charakterisierung von submarinen Grundwasseraustritten auf der Insel Spiekeroog, Norddeutschland</p>	
18:20	<p>O 10.4: Angela Prein: Changes in environment as land-use and population growth cause significant change in recharge in the City of Jeddah in Saudi Arabia</p>	<p>O 4.4: Anne-Marie Kurth et al.: Welchen Einfluss haben Revitalisierungen auf die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen?</p>		
18:40	<p>O 10.5: Stephan Schulz et al.: Estimation of Evaporation in Sabkhas on the Arabian Peninsula</p>	<p>O 4.5: Dirk Radny et al.: Flussrevitalisierungen und künstliche Grundwasseranreicherung zur Dämpfung von Hochwasserspitzen – Untersuchungen im Einzugsgebiet der Thur (Schweiz)</p>		
19:00	<p>O 10.6: Mohammad Usman et al.: Comparison of methods for estimation of recharge, specific yield and parameters of water balance in irrigated agriculture areas: A case study in Punjab, Pakistan</p>	<p>O 4.6: Myriam Stoewer et al.: Identification of groundwater nitrate sources in pre-alpine catchments</p>		
19:20	<p>O 10.7: Alexander Gerner: A novel strategy for estimating groundwater recharge in arid mountain regions and its application to parts of the Jebel Akhdar Mountains (Sultanate of Oman)</p>			
19:40	Conference closing			

Saturday, 31.05.2014

Time	H17, NW II	H18, NW II	H19, NW II	K4
08:00	Field Trips			

List of Sessions

- 1 Numerische Simulation von Strömungs- und Transportprozessen in Grundwasserleitern und angrenzenden Kompartimenten (30.05.2014 11:00-16:00, H17, NW II)
- 2 Hydrogeologie von Hardrock und Kluftegesteinen / Grundwasser und Karst (29.05.2014 10:00-13:00, H17, NW II)
- 3 Von der Atmosphäre zum Grundwasser - die Hydrologie der vadosen Zone (29.05.2014 10:00-12:20, H19, NW II)
- 4 Alpine Hydrogeologie (30.05.2014 17:20-19:20, H18, NW II)
- 5 Geophysikalische Methoden in der Hydrogeologie (29.05.2014 14:00-15:20, H17, NW II)
- 6 Grundwasser-, Boden- und Oberflächenwasser-Interaktionen (30.05.2014 11:00-18:20, H19, NW II)
- 8 Geothermie und Geocooling (29.05.2014 10:00-13:00, H18, NW II)
- 9 Urbane Hydrogeologie (29.05.2014 15:20-16:40, H17, NW II)
- 10 Hydrogeologie arider Gebiete (30.05.2014 17:20-19:40, H17, NW II)
- 11 Wärme-, Energie- und Kohlenstoffspeicherung im Untergrund (29.05.2014 14:00-16:40, H18, NW II)
- 12 Grundwasserqualität (29.05.2014 12:20-16:40, H19, NW II)
- 13 Czech-German exchange on environmental-, soil- and hydro(geo)logical issues (30.05.2014 11:00-15:00, H18, NW II)
- 14 Fracking for energy and its role for groundwater and soils (30.05.2014 15:00-16:00, H18, NW II)
- 15 Forum Junge Hydrogeologen (H 36, NW III) (28.05.2014 12:00-17:20, H36, NWIII)

Keynotes

KeyNote 1: , 29.05.2014, 09:00-09:40

Folk Beliefs and Fracking

FRANK SCHWARTZ¹

¹ School of Earth Sciences, The Ohio State University

Kontakt: schwartz.11@osu.edu

Folk beliefs represent the simple views that people hold to make the complex, simple and understandable. Given that our groundwater world is underground and complicated, a strong historical connection with folk beliefs is not surprising. Thus, as we travel the countryside, educated people regale us with stories of underground rivers, and streams of water, and mysterious people who can find those streams with a forked willow stick. The newest folk beliefs have developed around an old oil-patch technology, hydraulic fracturing or fracking. Fracking has become visible now because it has brought into play gas and oil resources occurring in low permeability reservoirs. In reality, modern-day fracking is just one element of advanced drilling and completion technologies, for example, directionally-drilled boreholes along formations. Folk beliefs have quickly developed around issues of gas production from shale. Media dutifully reports how fracking poisons shallow groundwater and makes it catch fire, how it causes earthquakes, or how petroleum companies destroy streams with fracking chemicals. The reality is that fracked wells will usually behave as intended, without the unpleasant side effects. The problems of methane in water often predate fracking and are a manifestation of a natural condition, as is the case in Pennsylvania with production from the Marcellus. However, companies still struggle with problems of annular leakage of methane around wells due damage from drilling. In Ohio, recent earthquakes in the vicinity of Cleveland have been attributed to fracking. The cause of these earthquakes was water disposal in wells located sensitive faults. The link to fracking is that recovered fracking fluids are among those that were injected. There is really no question that large-volume waste-water injection is capable of producing earthquakes in some settings. Fracking has less potential than waste water injection with seismic impacts commonly of M 0 to M -3. To me, folk beliefs are not particularly helpful in understanding hydrogeological problems. Beyond perpetuating overly simplistic views, they create a significant vulnerability in a population for those with an agenda trying to shape public opinion.

Assessing the risks posed by contaminated sites to water resources

POUL LØGSTRUP BJERG¹, URSULA MCKNIGHT¹, JULIE CHAMBON¹, ANNE TH. SONNE¹, ANGELINA AISOPOU¹, MADS TROLDORG¹, ANNIKA S. FJORDBØGE¹, NANNA I. THOMSEN¹, GITTE LEMMING¹, PHILIP J. BINNING¹

¹ Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark

Kontakt: plbj@env.dtu.dk

Most countries have thousands of contaminated sites that are a legacy of the widespread use of toxic chemicals in industry and agriculture. These now pose a threat to ground water and surface water resources, freshwater ecosystems and drinking water supplies. The most common contaminants include chlorinated solvents, petroleum hydrocarbons and pesticides. The cost of cleaning up the problem is typically very large and remediation programs must therefore continue over many years. Since resources are limited, methods are required to determine the risk of contamination from the contaminant sources to downstream receptors and to prioritize remediation efforts. Traditional contaminated site risk assessment tools are focused on determining the impact of contaminated sites to local groundwater resources. They do not enable downstream impacts to be determined, for example at drinking water wells, and so are of limited use for prioritizing remediation efforts.

New methods for the evaluation of the risk posed by contaminated sites on local and catchment scale are developed in order to prioritize resource use for remediation efforts. The tools consist of several elements: i) local scale leaching models, ii) catchment scale groundwater transport models, iii) groundwater surface water interaction and contaminant plume discharge to streams, iv) toxicological assessment tools for determining the contaminant impact on surface water v) uncertainty assessment tools. The tools are used to determine the cumulative impact of all known contaminated sites in a catchment on groundwater based drinking water supplies and ecosystems, thereby identifying the worst problems.

The new catchment scale risk assessment and prioritization methods and tools have been developed by the Technical University of Denmark for the Danish Environmental Protection Agency and municipal authorities. They are developed in close collaboration by consultants and widely used by practitioners.

A common feature of methods used in i) and ii) is that they are designed to be used in the early stages of site assessment, where many contaminated sites must be considered and data is scarce and typically of poor quality. The methods are generally also using the contaminant mass discharge (mass/time) from contaminated sites, which is a useful metrics when evaluating the potential risk to water supply wells and surface water bodies. In cases where groundwater contaminant plumes are discharging to streams, determination of flow paths and groundwater discharge are essential for evaluating the transport, fate and potential impact of the plume. This implies that investigators have the tools to easily and accurately evaluate the governing parameters, so we also aim to develop and test the applicability of different methods for mapping groundwater pollution as it enters streams, as well as conceptual models that incorporate the various mechanisms affecting flow.

A strength in the research activities are a focus on the full chain from initial screening to advanced risk assessment and finally remedial actions. Recently also life cycle assessment methods have

been included the tool box for selection of sustainable remediation methods. The presentation aims to give an overview of the risk assessment approaches and propose future challenges in the field.

1 Numeric simulation of flow and transport processes in aquifers and adjacent compartments

Oral Presentations

O 1.1: H17, NW II, 30.05.2014, 11:00-11:20

Implementierung der Forchheimer-Gleichung in MODFLOW

STEFFEN BIRK¹, CYRIL MAYAUD¹, PATRICIA WALKER¹, STEFAN HERGARTEN²

¹ Institut für Erdwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz

² Institut für Geo- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Kontakt: steffen.birk@uni-graz.at

Zur quantitativen Beschreibung der Grundwasserströmung wird fast ausschließlich das Gesetz von Darcy (1856) verwendet. Forchheimer (1901) stellte jedoch bei Versuchen mit Kiesen und anhand des Absenktrichters eines Pumpbrunnens eine überproportionale Zunahme des hydraulischen Gradienten i mit zunehmender Filtergeschwindigkeit q fest und schlug daher ein nicht-lineares Fließgesetz vor:

$$i = a q + b q^2$$

Der Koeffizient a im linearen Term der Gleichung entspricht dem Kehrwert des Durchlässigkeitsbeiwerts K im Darcy-Gesetz. Der Koeffizient b im quadratischen Term bestimmt, in welchem Ausmaß das Fließverhalten mit zunehmender Filtergeschwindigkeit vom Darcy-Gesetz abweicht. Die physikalische Ursache dieser Abweichung ist darin begründet, dass mit zunehmender Filtergeschwindigkeit Trägheits- und turbulente Reibungskräfte an Bedeutung gewinnen.

Während in Lockergesteinen hohe Filtergeschwindigkeiten, die zu Abweichungen vom linearen Darcy-Gesetz führen, nur bei hohen hydraulischen Gradienten etwa im Nahbereich von Brunnen auftreten, ist in Karstgrundwasserleitern damit selbst unter natürlichen Bedingungen zu rechnen. Aus diesem Grund schlagen Chin et al. (2009) die Verwendung des Forchheimer-Gesetzes für Strömungsberechnungen in Karstgesteinen vor.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, mit dem die Forchheimer-Gleichung als „Non-Linear Flow Package“ NLFP in das weit verbreitete Grundwassermodell MODFLOW implementiert wurde. Zu diesem Zweck wird die obige Gleichung in ein Darcy-Gesetz mit einem effektiven Durchlässigkeitswert K_{eff} umgeformt:

$$q = K_{eff} i$$

mit

$$K_{eff} = K (1 + b/a q)^{-1}$$

Da der effektive Durchlässigkeitswert nicht nur von den Forchheimer-Koeffizienten a und b , sondern auch von der zu berechnenden Filtergeschwindigkeit q abhängt, wird die Gleichung iterativ gelöst, indem jeweils die Filtergeschwindigkeit aus dem vorigen Iterationsschritt für die

Berechnung der effektiven Durchlässigkeit im aktuellen Iterationsschritt zugrund gelegt wird.

Die korrekte Implementierung und Funktionsweise dieses Ansatzes in MODFLOW wurde anhand von analytischen Lösungen für gespannte und ungespannte Bedingungen überprüft. Simulationen mit hypothetischen, aber realitätsnahen Modellszenarien zeigen, dass sich die Zahl der erforderlichen Iterationen durch Verwendung der nicht-linearen Gleichung moderat erhöht. Bei einem von Mayaud et al. (2013) vorgestellten Szenario ergibt sich in Abhängigkeit von den gewählten Forchheimer-Koeffizienten beispielsweise eine Erhöhung der Rechenzeit um bis zu 50%. Das Verfahren konvergiert aber selbst bei Szenarien mit Trockenfallen und Wiederbefeuchten von Zellen.

Chin, D.A., Price, R.M., DiFrenna, V.J. (2009): Nonlinear Flow in Karst Formations. *Ground Water*, doi: 10.1111/j.1745-6584.2009.00574.x.

Darcy, H. (1856) : Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris, France: Victor Dalmont.

Forchheimer, P. (1901): Wasserbewegung durch Boden. *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure* 45: 1782–1788.

Mayaud, C, Wagner, T., Benischke, R., Birk, S. (2013): Understanding changes in the hydrological behaviour within a karst aquifer (Lurbach system, Austria). *Carbonates and Evaporites*, doi: 10.1007/s13146-013-0172-3.

O 1.2: H17, NW II, 30.05.2014, 11:20-11:40

Numerische Inversionstechniken zur hochauflösenden Bestimmung von hydraulischen Parametern auf der Dekameterskala

RALF BRAUCHLER¹, RUI HU²

¹ **Departement Erdwissenschaften, ETH Zürich**

² **Geowissenschaftliches Zentrum, Universität Göttingen**

Kontakt: rhu@gwdg.de

Eine der grossen Herausforderungen bei der Charakterisierung von Grundwasserleitern ist die räumlich hochauflösende Bestimmung von hydraulischen Parametern im Untergrund. In den letzten 20 Jahren haben verschiedene Arbeitsgruppen begonnen numerische Auswertungsansätze für die Inversion von hydraulischen Tests zu entwickeln, die unter Verwendung von tomographischen Messanordnungen aufgezeichnet wurden. Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung von hydraulisch tomographischen Inversionstechniken auf Felddaten ist die Verfügbarkeit einer grossen Anzahl von hydraulischen cross-well Versuchen mit hoher Datenqualität. Die praktische Anwendung von hydraulischer Tomographie wird oft mit grossem logistischen Aufwand, langen Pumpzeiten, einer komplexen Auswertung und langen Rechenzeiten in Verbindung gebracht.

In dieser Studie zeigen wir, dass ein hydraulisch tomographischer Datensatz, bestehend aus 450 Absenkungskurven, in vier Arbeitstagen von zwei Wissenschaftlern ohne technisches Personal aufgezeichnet werden kann. Die Feldexperimente wurden am Testfeld Stegemühle, Göttingen durchgeführt. Bei diesem Testfeld handelt es sich um einen gespannten Sand- und Kiesgrundwasserleiter mit einer Mächtigkeit von 2-3 m.

Die Kurzzeitpumpversuche wurden zwischen sieben 2“ Brunnen und fünf Multikammerbrunnen, die mit Direct-Push Technologie installiert wurden, durchgeführt. Unter Verwendung eines

Doppelpacker-Systeme wurden in den 2" Brunnen ein 0.25 m langer Filterstreckenabschnitt hydraulisch isoliert und ein Kurzzeitpumpversuch durchgeführt. Die Druckänderung wurde sowohl im Pumpabschnitt als auch in den umgebenden Multikammerbrunnen mit einer Frequenz von 30 Hz aufgezeichnet.

Für die Auswertung der Tests wurde ein Ansatz verwendet, der auf der Transformation der Grundwasserströmungsgleichung in eine Form der Eikonalgleichung beruht (Vasco et al., 2000). Dieser Ansatz ermöglicht es Eikonalsolver, wie SIRT, ART, LSQR, die ursprünglich für die Inversion von geophysikalischen Laufzeitdaten entwickelt worden sind, zu verwenden. Diese Eikonalsolver sind extrem recheneffizient und ermöglichen es Hunderte von Absenkungskurven auf einem gewöhnlichen Feldlaptop in wenigen Minuten zu invertieren. Brauchler et al., 2011 entwickelten diesen Ansatz weiter und ermöglichten neben der Rekonstruktion der Diffusivitätsverteilung auch die Rekonstruktion der Speicherverteilung. Die Rekonstruktion basiert auf der Inversion der Dämpfung eines hydraulischen Druckpulses. Ursprünglich wurde diese Methode für die Inversion von Slugtestdaten entwickelt. Brauchler et al., 2013 modifizierten den Inversionsansatz und zeigten, dass neben Slugtest- auch Pumpversuchsdaten erfolgreich invertiert werden können.

Diese Studie verdeutlicht, dass ein hydraulisch tomographischer Datensatz schnell und effizient im Gelände aufgezeichnet und ausgewertet werden kann, was wiederum die Voraussetzung für den Einsatz von hydraulisch-tomographischen Untersuchungstechniken zur adaptiven Charakterisierung von Grundwasserleitern ist.

Vasco, D.W., Keers, H., Karasaki, K. (2000) Estimation of reservoir properties using transient pressure data: An asymptotic approach. *Water Resour. Res.* 36(12), 3447-3465

Brauchler, R., Hu, R., Dietrich, P., Sauter, M. (2011) A field assessment of high-resolution aquifer characterization based on hydraulic travel time and hydraulic attenuation tomography, *Water Resour. Res.*, 47, W03503

Brauchler, R., Hu, R., Hu, L., Jimenez, S., Bayer, P., Ptak, T. (2013) Rapid field application of hydraulic tomography for resolving aquifer heterogeneity in unconsolidated sediments, *Water Resour. Res.*, (49), 1-12

O 1.3: H17, NW II, 30.05.2014, 11:40-12:00

Einfluss hydrogeologischer Parameter auf das Quellen anhydritführender Tonsteine im Tunnelbau

*CHRISTOPH BUTSCHER*¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: christoph.butscher@kit.edu

Tunnel sind für eine moderne Infrastruktur von großer Bedeutung. Das Quellen anhydritführender Tonsteine ist häufig eine große Gefahr im Tunnelbau (z.B. Einstein 1996). Es kann Tunnel stark beschädigen und dadurch hohe Zusatzkosten beim Bau und Betrieb verursachen. Beispiele sind insbesondere aus dem Gipskeuper im Großraum Stuttgart und im Schweizer und Französischen Jura bekannt (z.B. Steiner 1993), aber auch aus Tertiären Formationen in Spanien (Alonso & Olivella 2008). Ein wichtiger Prozess, der zum Quellen beiträgt, ist die Umwandlung von Anhydrit in Gips unter Einwirkung von Wasser. Bei dieser Reaktion kann eine Volumenzunahme von bis zu 60% stattfinden.

Das Quellen tritt nicht jedes Mal auf, wenn ein Tunnel eine Formation mit anhydritführenden

Tonsteinen schneidet. Außerdem findet das Quellen zumeist in wohldefinierten Quellzonen statt. Dies legt nahe, dass bestimmte hydrogeologische und geochemische Bedingungen erfüllt sein müssen, um das Quellen auszulösen. Um diese Bedingungen zu bewerten, muss berücksichtigt werden, dass die Umwandlung von Anhydrit in Gips indirekt stattfindet (Jeschke et al. 2001): zuerst löst sich der Anhydrit in Wasser; die Lösung kann mit dem Grundwasserfluss transportiert werden; und zuletzt fällt aus der Lösung Gips aus. Angesichts dieses Reaktionswegs ist es naheliegend, dass Fließpfade des Grundwassers eine Schlüsselrolle für das Verständnis der Quellprozesse spielen.

Wir präsentieren eine Fallstudie aus dem Schweizer Jura, die aufzeigt, wie hydrogeologische Überlegungen in einen Ansatz zur Abschätzung des Quellpotenzials im Tunnelbau integriert werden können. Weil der Grundwasserfluss ein Hauptfaktor ist, der das Quellen kontrolliert, verwenden wir einen Ansatz, der die Grundwasserfließsysteme am Untersuchungsstandort analysiert. Der Ansatz beruht auf der Annahme, dass eine Erhöhung der Fließraten in anhydritführenden Schichten nach dem Tunnelbau maßgeblich zum Quellen beiträgt. Wir verwenden numerische Grundwassermodelle, um Fließraten am Anhydritspiegel in verschiedenen Tunnelabschnitten zu berechnen (Butscher et al. 2011). Eine Sensitivitätsstudie analysiert den Einfluss hydrogeologischer Parameter auf die Fließraten. Die analysierten Parameter sind die hydraulische Leitfähigkeit von geologischen Einheiten und Störungszonen, Eigenschaften der Auflockerungszone um den Tunnel und des Tunnelausbaus sowie das hydraulische Potenzial in Aquiferen nahe dem Tunnel. Wir schließen mit einer Diskussion der Folgerungen aus der Sensitivitätsstudie für die Planung von Tunnelprojekten, Erkundungsmaßnahmen und möglichen Strategien, dem Quellproblem in anhydritführenden Tonsteinen zu begegnen.

Schlachworte: Gesteinsquellen, anhydritführende Tonsteine, Grundwasserfluss, Tunnelbau

Alonso, E.E. & Olivella, S. (2008): Modelling tunnel performance in expansive gypsum claystones. International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Goa, India, 891-910.

Butscher, C., Huggenberger, P., Zechner, E. & Einstein, H.H. (2011). Relation between hydrogeological setting and swelling potential of clay-sulfate rocks in tunneling. *Engineering Geology* 122, 204-214.

Einstein, H.H. (1996): Tunnelling in difficult ground – Swelling behaviour and identification of swelling rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 29 (3), 113-124.

Jeschke, A.A., Vosbeck, K. & Dreybrodt, W. (2001): Surface controlled dissolution rates of gypsum in aqueous solutions exhibit nonlinear dissolution kinetics. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65 (17), 27-34.

Steiner, W. (1993): Swelling rock in tunnels: Characterization, effect of horizontal stresses and Construction Procedures. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences & Geomechanical Abstracts* 30 (4), 361–380.

Dreidimensionale Quermischung in Heterogenen Grundwasserleitern

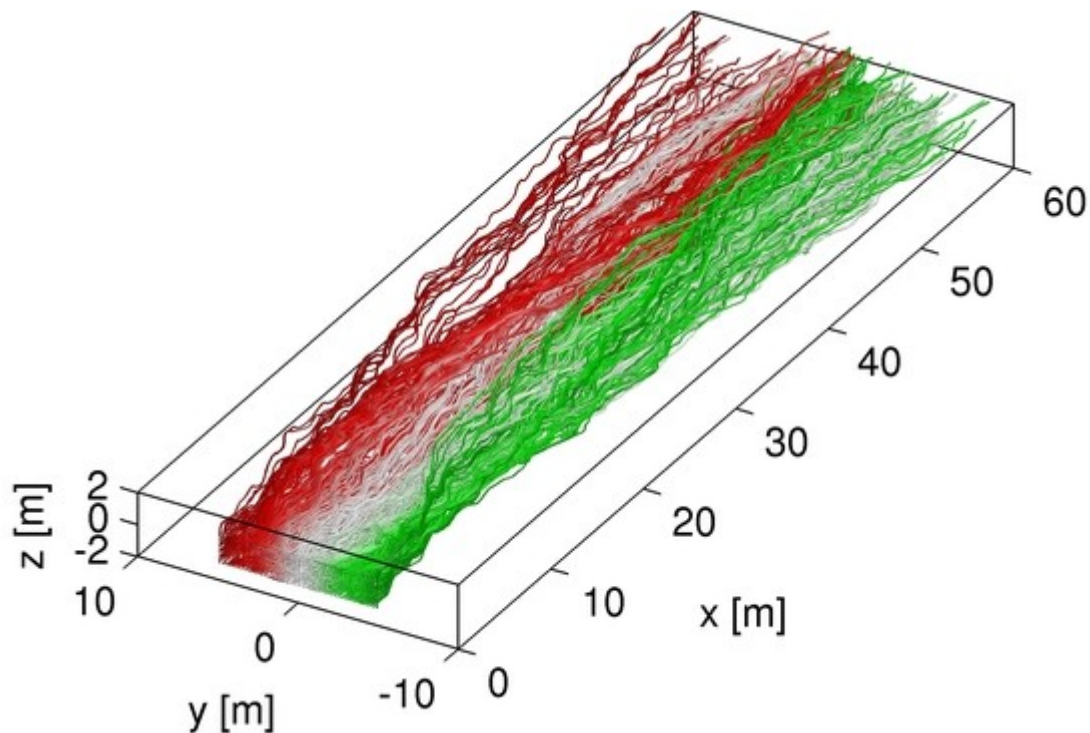
OLAF CIRPKA¹, CHIOGNA GABRIELE¹, ROLLE MASSIMO¹, BELLIN ALBERTO²

¹ Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Eberhard Karls Universität Tübingen

² Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, Università degli Studi di Trento

Kontakt: olaf.cirpka@uni-tuebingen.de

Stationäre Schadstofffahnen werden typischerweise von der Quermischung zwischen der Fahne und Reaktionspartnern aus der Grundströmung kontrolliert. In zweidimensionalen Gebieten bewirkt Heterogenität eine Fokussierung der Strömung in hochdurchlässigen Zonen, was in stationären Strömungen zu einer schwachen Erhöhung der Transversalmischung führt. In dreidimensionalen Gebieten sind komplexere Strömungsverhältnisse möglich, weil sich Stromlinien "verzwirbeln" können. Insbesondere die räumliche Variabilität der Anisotropie, die in sedimentären Strukturen häufig zu beobachten ist, kann zu Grundwasserwirbeln führen. Wir untersuchen den stationären Stofftransport in dreidimensionalen heterogenen porösen Medien mit blockweiser anisotroper Korrelationsstruktur, in denen sich die Hauptachsen der Anisotropie von Block zu Block unterscheiden. Advektiver Stofftransport wird entlang von Stromlinien gelöst, wohingegen der Queraustausch mit finiten Volumen basierend auf Thiessen-Polygonen diskretisiert wird. Dieses Verfahren verhindert künstliche Querdispersion durch numerische Fehler. Wir vergleichen ein nichtstationäres anisotropes log-Durchlässigkeitsfeld mit einem äquivalenten stationären Feld mit gleichem Mittelwert, Varianz und 2-Punkt Korrelationsfunktion unter Vernachlässigung der Nichtstationarität. Das nichtstationäre Feld erzeugt Sekundärströmung und bewirkt, dass sich benachbarte Stromlinien voneinander wegbewegen, was mit 2-Partikel Momenten des advektiven Transports beschrieben werden kann. Die Trennung benachbarter Stromlinien verstärkt die Quermischung durch lokale Dispersion. Wir quantifizieren die Stärke der Quermischung mit dem abflussgewichteten Verdünnungsindex, der im Fall des nichtstationären anisotropen Durchlässigkeitsfeldes viel stärker zunimmt als im äquivalenten stationären Feld. Wir folgern hieraus, dass nichtstationäre Anisotropie in der Korrelationsstruktur einen wichtigen Einfluss auf die Quermischung ausübt. In natürlichen Sedimenten vermischen sich Schadstofffahnen wahrscheinlich stärker in der Querrichtung, als dies durch Analyse stationärer Felder vorhergesagt wird.



Stromlinien in einem statistisch nicht-stationären, anisotropen, heterogenen Grundwasserleiter

O 1.5: H17, NW II, 30.05.2014, 12:20-12:40

PHREASIM - Numerische Simulation und Einsatz zur Validierung von Messungen der Grundwasserfließbewegung in Grundwassermessstellen

JOACHIM DRIESSEN¹, MARC SCHÖTTLER²

¹ Uni Mainz, Inst. f. Geowissenschaften

² PHREALOG

Kontakt: m.schoettler@phrealog.de

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern, wurde ein neuartiger Navier Stokes-Brinkman Gleichungslöser entwickelt. Dieser ist Kern des Arbeitsprogramms PHREASIM, mit dem Fließbewegungen an und in Grundwassermessstellen simuliert werden können. Der numerische Ansatz wurde in Laborexperimenten validiert. PHREASIM wurde zur Weiterentwicklung des PHREALOG-Messsystems eingesetzt. Das Design der Messzellen wurde auf die Durchflussgeometrie in Grundwassermessstellen abgestimmt und optimiert. Das weiterentwickelte Messsystem wird vorgestellt. Darüber hinaus wurden Voraussetzungen geschaffen, um mit PHREASIM die gewonnenen Fließmessdaten stichhaltiger als bisher auszuwerten und zu interpretieren. Es wird demonstriert, wie die im Feld gewonnenen Daten mit Hilfe von PHREASIM ausgewertet werden.

Anwendung von Brunnen mit geringen Durchmessern für die künstliche Grundwasseranreicherung

FALK HÄNDEL¹, JOHANN FANK², ANDREAS FANK³, PETER DIETRICH⁴, RUDOLF LIEDL¹

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden, Bergstraße 66, 01069 Dresden

² Resources, JOANNEUM Research, Elisabethstraße 18, 8010 Graz, Österreich

³ Wasserversorgung Grenzland Süd-Ost, Bahnhofstraße 20b, 8350 Fehring, Österreich

⁴ Department Monitoring und Erkundungstechnologien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Kontakt: falk.haendel@ufz.de

Die Trinkwasserknappheit erreicht in vielen Regionen der Welt inzwischen kritische Ausmaße. Um der zeitlich ungleichmäßigen Verteilung der Ressource Wasser zu entgegenen, aber auch zur Verbesserung der Trinkwasserqualität werden künstliche Grundwasseranreicherungen genutzt. Für oberflächennahe Anreicherungen werden dazu häufig Infiltrationsbecken und –gräben verwendet. Diese haben jedoch signifikante Nachteile gegenüber Brunnen, z.B. eine hohe Verdunstung und eine erhöhte Landnutzung.

Als Alternative können sowohl horizontale als auch vertikale Brunnensysteme genutzt werden. Horizontale Systeme eignen sich besonders in flachen Grundwasserleitern oder um bei Bedarf Wasser gezielt in die obere ungesättigte Zone zu infiltrieren. Vertikale Systeme wurden bisher eher bei Infiltrationen in tiefe Grundwasserleiter genutzt oder als vergleichbar flache Sickerbrunnen mit großen Durchmessern. Bisher existieren keine gesicherten Experimentaldaten zum Infiltrationsverhalten von Brunnen geringerer Durchmesser als Infiltrationmethodik für flache Grundwasserleiter. Diese vertikalen Brunnen können mit Hilfe der Direct-Push (DP)-Technologie errichtet werden. Dies stellt eine flexible und kostengünstige Methode zur Untergrunderkundung und Pegelkonstruktion dar.

In synthetischen, numerischen Vorarbeiten, welche einen Vergleich zwischen einem vertikalen DP-Brunnen (2“) und einem Infiltrationsbecken beinhalten, konnten die Vorteile der vertikalen Systeme aufgezeigt werden.

In der präsentierten Arbeit sollen in einem zweiten Schritt die gewonnenen Ergebnisse auf einen realistischen Standort in der Südsteiermark, Österreich übertragen werden. Durch hohe Nitratgehalte im Grundwasser besteht der Bedarf der Verdünnung bereits im Untergrund. Letztlich soll damit ermöglicht werden, dass Trinkwasser durch Brunnen ohne weitere Behandlung gefördert werden kann. Der Untergrund am Standort besteht aus einer gesättigten Zone von 3-5 m und einer ungesättigten Zone von 2-5 m. Dabei wird der DP-Brunnen mit einem existenten horizontalen System bestehend aus 3 jeweils 6 m langen Infiltrationsrohren, welche in der ungesättigten Zone gelagert sind, verglichen. Dieses System kann als State-of-the-art der Versickerung in flachen Grundwasserleitern angesehen werden. Dieses horizontale System konnte erfolgreich am Standort getestet und folgend für die Infiltration von Wässern benutzt werden. Numerische Simulationen für beide Systeme unter identischen Untergrundbedingungen erlauben eine erste Ableitung der Anwendbarkeit am Standort. Die große Herausforderung für den vertikalen Brunnen stellen die zeitlich hochveränderlichen hydraulischen aber auch räumlich variablen Untergrundbedingungen dar. Trotzdem zeigen diese Simulationen, dass mittels vertikaler Brunnen eine hohe Infiltrationsrate erreicht werden kann. Abschließend werden technische Limitierungen, welche nicht in den Modellen implementiert werden können, aufgezeigt und anhand dieser eine Anordnung von

mehreren Brunnen entworfen.

O 1.7: H17, NW II, 30.05.2014, 14:00-14:20

Numerische Modellierung der saisonalen Redox-Dynamik in einer Uferfiltrationstransekte, Tegel, Berlin

ALINE HENZLER¹, JANEK GRESKOWIAK¹, GUDRUN MASSMANN¹

¹ Uni Oldenburg IBU-Institut für Biologie und Umweltwissenschaften

Kontakt: aline.henzler@uni-oldenburg.de

Als Uferfiltration wird der Prozess der Infiltration von Oberflächenwasser durch ein hydraulisches Gefälle in den Grundwasserraum beschrieben. Dieses hydraulische Gefälle kann sowohl ein Resultat von natürlich entstandenen Gegebenheiten sein, als auch künstlich, durch die Absenkung des Grundwasserspiegels durch Entnahmekbrunnen in Ufernähe herbeigeführt werden (Hiscock and Grischek, 2001).

Verschiede Studien haben in der Vergangenheit schon auf den bedeutenden Einfluss von Redoxbedingungen in Bezug auf die Grundwasserqualität, insbesondere während der Uferfiltration, hingewiesen (Bourg et al., 1989, Dousson et al., 1997). Das vorherrschende Redoxmilieu in der Uferfiltrationszone ist z.B. verantwortlich für das Auftreten oder die Elimination von Eisen und Mangan, Schwermetallen, Nitrat und Ammonium, sowie für den Abbau von organischen Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die saisonal bedingten Temperaturänderungen und die davon abhängigen Redoxzonierungen, insbesondere die Übergänge von aerober und die anaerober Zone einer Uferfiltrationsanlage zu simulieren. Hierzu wurde ein zweidimensionales, reaktives Transportmodell in MODFLOW und PHT3D (Prommer, 2002) aufgesetzt.

Die Studie stützt sich dabei auf eine umfassende Datenlage aus vorangegangenen Untersuchungen die im Rahmen des NASRI Projektes (Natural System for Recharge and Infiltration) stattgefunden haben.

Der Untersuchungsstandort befindet sich an der urbanen Uferfiltrationsanlage am Tegeler See in Berlin. Die Redoxzonierung im Uferbereich des Tegeler Sees ist eher vertikal ausgerichtet, d.h. das Grundwasser wird mit der Tiefe reduzierender. Die Redoxbedingungen hängen von einer ganzen Reihe von Faktoren, wie den Gehalten von organischem Kohlenstoff in der Gewässersohle, den saisonalen Temperatur-änderungen und nicht zuletzt von den durch das Förderregime bedingten variablen Fließzeiten des Grundwassers (Massmann et al., 2009) ab.

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren konnten die Übergangsbereiche zwischen aerober und anaerober Zone zufriedenstellend simuliert werden und bieten nunmehr die Grundlage für die Simulation von weiteren geochemischen Prozessen wie z.B. dem redox-abhängigen Abbau von organischen Spurenstoffen an der Uferfiltrationstransekte.

Bourg et al. (1989): Impact of temperature on biodegradation of bulk and trace organics during soil passage in an indirect reuse system. *Water Science & Technology* (1989) 57.7: 987-994.

Dousson et al. (1997): River Bank Filtration: Modeling of the Changes in Water Chemistry with Emphasis on Nitrogen Species. *J. o. Contam. Hydrology* (1997) 25: 129-156.

Hiscock and Grischek (2001): Attenuation of Groundwater Pollution by Bank Filtration. *J. o. Hydrology* (2002) 266: 136-144.

Massmann et al. (2009): Hydrodynamische und hydrochemische Aspekte der anthropogenen und natürlich induzierten Uferfiltration am Beispiel von Berlin/Brandenburg. Grundwasser (2009) 14:163-177.

Prommer (2002): A Reactive Multicomponent Transport Model for Saturated Porous Media. Users Manual Version 1.0.

O 1.8: H17, NW II, 30.05.2014, 14:20-14:40

Np(V) migration in a single fracture from Äspö, Sweden: Experiments and reactive transport modeling

FLORIAN HUBER¹, PAOLO TRINCHERO², JORGE MOLINERO², THORSTEN SCHÄFER¹

¹ KIT-INE

² Amphos21 Consulting S.L., Spain

Kontakt: florian.huber@kit.edu

In the context of nuclear waste disposal reactive transport modelling represents an important tool for long-term predictions of radionuclide migration. In this work, the Lagrangian-based framework FASTREACT (FrAmework for STochastic REACive Transport) (Trinchero et al., 2013) coupled to the geochemical code PhreeqC is applied. This newly developed approach is tested to model experimental data on HTO and ²³⁷Np(V) migration through a natural single fracture in Äspö diorite. Migration experiments have been conducted on a single fractured drill core (length 13.5cm; diameter 5.05cm) from Äspö, Sweden using a radionuclide cocktail on basis of natural Grimsel ground water to mimic the influence of glacial melt water intrusion into a repository. To model the Np reactive transport we tested different approaches with increasing complexity ranging from simplified Kd-type sorption models (1st order reversible sorption/desorption kinetics) to more complex, mechanistically based surface complexation models for sorption of NpO₂⁺ onto one (Fe₂O₃·2H₂O (HFO)) and two (HFO and biotite (Bt)) mineral phases.

The experimental Np breakthrough curve (BTC) shows a retardation (retardation factor $R_f = 1.8$) compared to the conservative tracer (HTO) BTC and a pronounced tailing indicative of an interaction with the fracture surfaces. Np recovery is ~76% at the end of the experiment, but the tailing seems to be still on-going thus a quantitative Np recovery is reasonable to expect. The high Np recovery is in line with measured Eh values (~ +200 mV) and thermodynamic modelling yielding no Np reduction and NpO₂⁺ as dominating species, which is known to sorb weakly.

The experimental HTO BTC is captured well by FASTREACT verifying the correctness of the coupling of PhreeqC and FASTREACT. Using a single Kd derived from the migration experiments (Kd = 0.18) in the different SCM models, it is not at all possible to adequately describe the Np BTC. While the peak position is captured relatively well, the model completely fails both in describing the Np BTC peak concentration and tailing. In case of the 1st order kinetic model, the model fit describes the ascending part of the curve quite well, and also shows a pronounced tailing, but the overall fit is not satisfactory. Adjusting the (unknown total reactive) mineral surface area using the parameter estimation code PEST improved all model fits, but still deviations to the experimental BTC are observed. The combined study leads to the conclusion that fracture geometry induced flow heterogeneities are only important for the conservative tracer (HTO) while the Np migration behaviour is governed by the chemical interaction with the fracture surface showing pronounced sorption kinetics within the duration of the experiments. To sum up, the FASTREACT approach coupled to PhreeqC has been shown to represent an effective computational framework for the

interpretation of laboratory experiments of radionuclide transport.

Trincherro, P., J. Molinero, and G. Roman-Ross, *FASTREACT - Final Report - Streamline Approach for the Solution of Multicomponent Reactive Transport Problems. R-10-45*, 2011, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB).

O 1.9: H17, NW II, 30.05.2014, 14:40-15:00

Einsatz von ständig verfügbaren Modellen zur Gewährleistung der Trinkwasserversorgung in Berlin

JUNFENG LUO¹, KATJA EULITZ¹, CHRISTIAN TOMSU¹, BERTRAM MONNINKHOFF¹, DÖRTE SIEBENTHALER², SEBASTIAN SCHIMMELPFENNIG²

¹ **DHI-WASY GmbH**

² **Berliner Wasserbetriebe**

Kontakt: chto@dhigroup.com

In Berlin ist mit ca. 230 km² etwa ein Viertel der Stadtfläche als Schutzgebietsfläche für die 9 Grundwasserwerke der Berliner Wasserbetriebe ausgewiesen. Die Sicherstellung der Wasserversorgung der Großstadt steht oft in Konflikt zur Stadtentwicklung und Industrienutzung.

Im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe hat die DHI-WASY GmbH für mehrere Einzugsgebiete sog. Ständig Verfügbare Modelle (SVM) aufgebaut und fortgeschrieben. Hauptfokus der Grundwassermodelle ist die Bewirtschaftung der Grundwasserressource und die Neufestsetzung der Wasserschutzgebiete. Aufgrund der vielen Konfliktpotentiale werden die Modelle zunehmend für die Berechnung von Förderszenarien zum Beispiel für Machbarkeitsstudien zu geohydraulischen Sicherungsvarianten und zur Untersuchung der Siedlungsverträglichkeit eingesetzt. Ein weiterer Bearbeitungsschwerpunkt ist die Überführung in Stofftransportmodelle zur Untersuchung von Schadstofffahnen bzw. deren Sanierung.

Im Vortrag wird ein Spektrum der Einsatzbereiche der Ständig Verfügbaren Berliner Grundwassermodelle vorgestellt. Neben der klassischen Ausweisung von Wasserschutzgebieten durch Analyse von Förderszenarien und Bahnlinienberechnungen am Beispiel des Wasserwerks Tegel werden Projektbeispiele zur Darstellung der hohen Anforderungen der Modellaussagegenauigkeit der urbanen Grundwassermodellierung aufgeführt. Das Grundwassermodell für das Wasserwerk Friedrichshagen umfasst eine Fläche von ca. 520 km² und berücksichtigt ca. 500 Förderbrunnen. Dabei wird das bei großräumigen Modellen bekannte Problem der Freiwasserspiegel bzw. Teilsättigung in dem obersten Grundwasserleiterkomplex auf der Hochfläche durch das modifizierte van Genuchten-Modell in FEFLOW praktikabel gelöst. Aktuell wird eine Erweiterung mit den Wasserwerken Wuhlheide und Kaulsdorf auf ca. 680 km² durchgeführt, da sich die Einzugsgebiete überlagern. Das Modellnetz mit variablen dreieckigen Finite-Elementen hat im Bereich der Brunnen eine Auflösung von ca. 5 m. Mit dem Großraum-Grundwassermodell Friedrichshagen wurden u.a. die Ammoniumkontamination durch Altlasten der Abwasserbehandlung im nördlichen Anstrom der Brunnengalerien simuliert sowie Sanierungskonzepte mit einer BIOXWAND geprüft. Im Bereich des Wasserwerks Stolpe wurde ein detailliertes hydrogeologisches Strukturmodell im Bereich der unterströmten Havelrinne erstellt, um mögliche Beeinflussungen durch die Industriestandorte in unmittelbarer Nachbarschaft des Wasserwerks bewerten zu können.

Die Ständig Verfügbaren Modelle konnten mittlerweile auch für weitere Fragestellungen im Berliner Raum eingesetzt werden. Im Rahmen des INKA-BB Projektes konnte der Effekt des Klimawandels auf den Grundwasserhaushalt der Einzugsgebiete der WW Tegel und Friedrichshagen ermittelt und Detailanalysen zum verbesserten Wasserrückhalt im Einzugsgebiet durchgeführt werden. Auch wurden die Effekte einer geänderten Stauhaltung der Spree zu untersucht.

O 1.10: H17, NW II, 30.05.2014, 15:00-15:20

Numerische Modellierung der Grundwasserströmung im Einzugsgebiet der Gallusquelle unter Festlegung eines Drainagesystems

ULF MOHRLOK¹

¹ **Karlsruher Institut für Technologie**

Kontakt: ulf.mohrlok@kit.edu

Die Grundwasserströmung in einem Karstsystem ist im Wesentlichen durch die Wirkung des Drainagesystems der Karströhren bestimmt. Für einen vorbeugenden Grundwasserschutz in Karstgebieten ist es notwendig, Methoden zu entwickeln, um die Wasserströmung und den Stofftransport in diesen Systemen quantitativ beschreiben und vorhersagen zu können. Eine große Herausforderung liegt dabei in der Erfassung und Beschreibung des Systems der Karströhren, welche das geklüftete Karstgestein (z.B. Kalkstein-Matrix) drainieren. Mohrlok & Sauter (1997) leiteten auf Basis verfügbarer Daten zur Topografie und Geologie sowie aus der Fernerkundung ein drainierendes Röhrennetz im Einzugsgebiet der Gallusquelle, mittlere Schwäbische Alb, ab. Trotz Optimierung der Werte einzelner Modellparameter konnten sie für den Modellzeitraum 1.12.1983 – 30.11.1989 die karsttypische Schüttungsganglinie und die Grundwasserstände an mehreren Messstellen nicht in gleichem Maße nachbilden. Diese Ergebnisse wurden als Referenz für eine Parameterstudie zur Untersuchung des Einflusses mehrerer Modellparameter verwendet.

In der Parameterstudie wurden die hydraulische Leitfähigkeit und der Speicherkoeffizient der Matrix, die Aufteilung der Grundwasserneubildung auf Röhren und Matrix sowie die Durchmesser der Karströhren variiert. Die berechneten Zeitreihen der Quellschüttung und der Grundwasserstände wurden sowohl hinsichtlich ihrer Dynamik als auch ihres Mittelwerts mit Messdaten verglichen. Aus den Unterschieden für die einzelnen Parametervariationen konnten Rückschlüsse auf die hydraulischen Prozesse gezogen und damit ein verbessertes Prozessverständnis erzielt werden. Zur quantitativen Bewertung der Simulationsergebnisse wurden die mittleren Fehlerquadrate, das Bestimmtheitsmaß und Nash-Sutcliffe-Index herangezogen. Dabei waren die statistischen Kennzahlen stärker durch unterschiedliche Mittelwerte als durch eine unterschiedliche Dynamik beeinflusst sind. Selbst deutlich unterschiedliche Charakteristiken der Dynamik führten so zu ähnlichen Werten bei den statistischen Kennzahlen. Durch die Parameterstudie konnte somit gezeigt werden, dass weder die qualitative Bewertung der Zeitreihen noch die statistischen Kennwerte für sich alleine umfassende Aussagen über die Güte einer Anpassung der berechneten Grundwasserströmung in einem Karstsystem ermöglichen.

MOHRLOK, U. & SAUTER, M. (1997): Modelling groundwater flow in a karst terrane using discrete and double continuum approaches: importance of spatial and temporal distribution of groundwater recharge. In: 6th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Media. - In: Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, vol. 2, 10–17 August 1997, La Chaux-de-Fonds, 167–170; La Chaux-de-Fonds, Switzerland.

Großräumige Grundwassermodellierung zur Erkundung alternativer Grundwassergewinnungsgebiete in einem wasserwirtschaftlich intensiv genutzten Raum.

KLAAS STOEPKER¹, GOTTFRIED AGSTER¹

¹ **Geologischer Dienst Schleswig-Holstein, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein**

Kontakt: klaas.stoepker@llur.landsh.de

Im Verlauf des 20. Jahrhunderts haben im Raum Lübeck massive Veränderungen der Grundwasserentnahmen stattgefunden. Sie erhöhten sich von 5 Mio. m³/a in 1917 bis auf rd. 29 Mio. m³/a in 1976 und sanken wegen des starken Rückganges gewerblicher Entnahmen danach wieder bis unter 15 Mio. m³/a ab. Damit verbunden waren starke Grundwasserabsenkungen und verstärkte Grundwasserversalzungen.

Zur Optimierung der GW-Bewirtschaftung wurden daher in einem rd. 1000 km² großen Raum umfangreiche hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt, 110 neue, 60-570 m tiefe Bohrungen abgeteuft, 261 Grundwassermessstellen neu eingerichtet, 2 Großpumpversuche durchgeführt, das Ausmaß der Grundwasserversalzung untersucht, auf der Basis 1065 ausgewählter Bohrungen ein detailliertes geologisches Modell erstellt (13 Layer vom Tertiär-Quartär mit glazialen Rinnenstrukturen und anschließend eine numerische Grundwassermodellierung (Finite-Elemente) durchgeführt. Sie erfolgte für die Zeiträume 1917 und 1963 bis 2010 mit Hilfe der sog. „successive steady state“-Methode. Die Strömungsverhältnisse waren dabei quasi stationär.

Erkennbar waren die Grundwasserentnahmen wegen teils sehr mächtiger Deckschichten (meist Geschiebemergel) auch noch in weit, bis ca. 20 km entfernten Messstellen. Glaziale Rinnen verursachen als markante hydraulische Barrieren teilweise Grundwasserstandsdifferenzen von über 10 m. Ihre Flanken werden im Modell durch eine Reihe engständiger Elemente (Abstand ca. 5 m) diskretisiert. So konnten asymmetrische Rinnenströmungen (unterschiedlicher Ein- und Ausstrom sowie Rinnenlängsströmung) dargestellt und so auch ein direkter Zusammenhang zwischen Grundwasserbewirtschaftung und Grundwasserversalzung als Folge des steigenden Zustrom salzhaltiger Rinnenwässer aufgezeigt werden.

Für verschiedene Förderkonstellationen bestehender Wasserwerke und mögliche neue Gewinnungsgebiete zur Entlastung des Lübecker Raumes wurden Einzugsgebiete ermittelt: Die Zusickerungsbereiche in den Hauptwasserleiter und damit das oberirdische Einzugsgebiet (Abb. 1) erhält man durch den Start von Strombahnen von allen Polygonflächen an der Modelloberkannte und Selektion derjenigen Bahnen, die in den Förderbrunnen enden. Damit lassen sich Bereiche ausgrenzen, die wegen artesischer Verhältnisse und/oder der Entwässerung in die Vorflut nicht Teil des oberirdischen Einzugsgebietes sind. Zur Berechnung des unterirdischen Einzugsgebietes werden Strombahnen rückwärts, aus den Brunnen heraus berechnet. Die Umhüllende aller Strombahnen entspricht dann dem unterirdischen Einzugsgebiet (Abb. 2), dabei werden in tieferen Wasserleiterabschnitten auch Flächen unterströmt, die nicht Teil des oberirdischen Einzugsgebietes sind. Bei Fragen des Grundwasserschutzes können diese Flächenunterschiede, abhängig von der Eingriffsart und -tiefe (z. B. Erdwärmesonden, Landwirtschaft), unterschiedliche Konsequenzen für Nutzungseinschränkungen zur Folge haben.

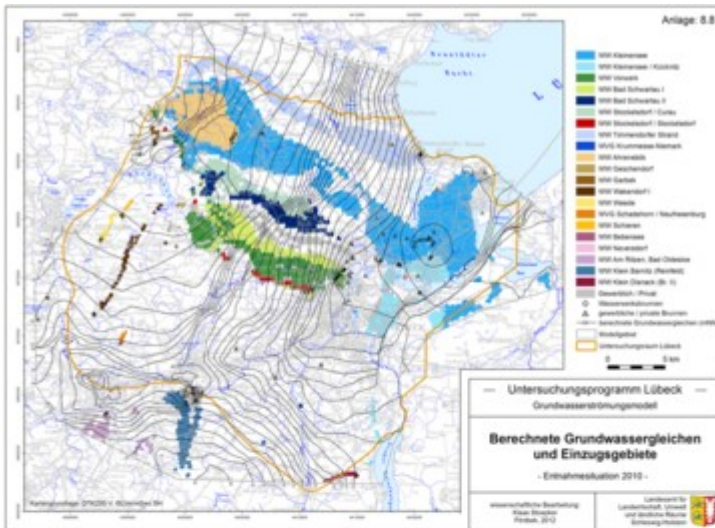


Abb. 1: Oberirdische Einzugsgebiete mittels Zusickerungsflächen.

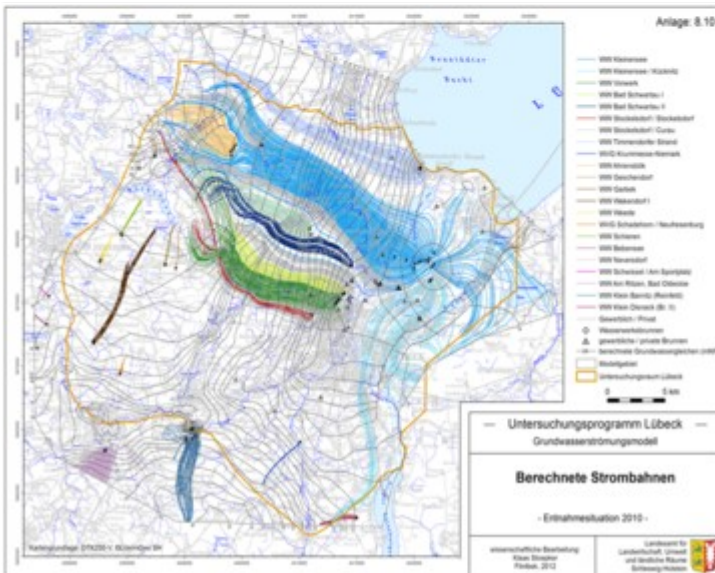


Abb. 2: Unterirdische Einzugsgebiete mittels Strombahnen.

O 1.12: H17, NW II, 30.05.2014, 15:40-16:00

Thermohaline Konvektion in gering durchlässigen Kluffeststeinen

KATHARINA VUJEVIC¹, THOMAS GRAF¹

¹ Institut für Strömungsmechanik, Leibniz Universität Hannover

Kontakt: vujevic@hydromech.uni-hannover.de

Die Eigenschaften des Grundwassers, insbesondere seine Dichte, werden durch gelöste Stoffe (z.B. Salz), sowie durch die Untergrundtemperatur beeinflusst. Wird Wasser mit geringerer Dichte von Wasser höherer Dichte überlagert, ergeben sich potentiell instabilen Dichteschichtungen. In Abhängigkeit von Ausprägung der Dichteunterschiede und Diffusivität der beteiligten Stoffe, beziehungsweise der thermischen Eigenschaften des Grundwasserleiters, werden die Dichteunterschiede durch Diffusion oder Konduktion ausgeglichen oder die Auftriebskräfte dominieren und führen zu freier Konvektion. Ein Grundwasserfluss durch freie Konvektion ist somit möglich, auch ohne dass äußere Druckgradienten Grundwasserbewegung erzwingen.

Freie Konvektion hervorgerufen durch Temperaturgradienten (thermisch), durch unterschiedliche Salzkonzentrationen (halin) oder durch eine Kombination davon (thermohalin) können auf natürliche Ursachen zurückzuführen sein, wie den natürlich thermische Gradienten im Erdmantel, die Lösung natürlicher Salze im Grundwasser, oder das Eindringen von Meerwasser in küstennahe Grundwasserleiter. Instabile Dichteschichtungen können aber auch anthropogen verursacht werden, zum Beispiel durch das Eindringen von salzhaltigem Deponiesickerwasser ins Grundwasser, das Einlagern Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in geologische Formationen wie Salzstöcke oder die Injektion von Wasser mit Temperaturen, welche nicht denen des Untergrundes entsprechen (Geothermische Anlagen, Geocooling).

Da freie Konvektion im Vergleich zu reiner Diffusion/Konduktion gelöste Stoffe und Wärme weit schneller und effektiver transportieren kann, ist gerade bei Eingriffen des Menschen in die Grundwassersysteme zu prüfen, ob und inwieweit freie Konvektion auftritt. In Festgesteinen wird eine Prognose der zu erwartenden Konvektionsmuster durch Kluftsysteme erschwert, da Klüfte bevorzugte Fließwege darstellen, in denen die Fließgeschwindigkeiten erheblich größer sein können als in der umgebenden Gesteinsmatrix.

Derzeit gibt es kaum Studien, die sich mit freier Konvektion in Kluftgesteinen befassen. Unser Ziel ist es daher, zu bestimmen, wann Kluftsysteme Konvektionsmuster und Stofftransport beeinflussen und die dafür entscheidenden geometrischen Eigenschaften von Kluftnetzwerken zu bestimmen. Haline und thermohaline Konvektion in geklüftetem Gestein und einem homogenen porösen Vergleichsmedium werden dazu mit dem numerischen Modell HydroGeoSphere analysiert.

Die bisherigen Ergebnisse legen nahe, dass Klüfte die Dichteströmung signifikant beeinflussen, wenn die Permeabilität der Kluft mehrerer Größenordnungen über der der Matrix liegt. Je nach Geometrie des Kluftnetzwerks, können Klüfte ein System mit identischer äquivalenter Durchlässigkeit stabilisieren und Konvektion eindämmen oder Konvektion ermöglichen, beziehungsweise verstärken.

Diersch, H.-J.G. & Kolditz, O. (2002): Variable-density flow and transport in porous media: approaches and challenges. - *Adv. Water Resour.*, 25: 899-944.

Lapwood, E.R. (1948): Convection of a fluid in a porous media. - *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 44: 508-521

Nield, D.A. & Bejan, A. (2006): *Convection in porous media*. - Springer, New York, 2006.

Shikaze, S.G., Sudicky, E.A. & Schwartz, F.W. (1998): Density-dependent solute transport in discretely-fractured geological media: is prediction possible? - *J. Contam. Hydrol.*, 34: 273-291.

Numerische Simulation der Grundwasserfließbewegung an Grundwassermessstellen

JOACHIM DRIESSEN¹, FRIEDER ENZMANN¹, MICHAEL DREWS¹, MARC SCHÖTTLER², OLEG ILIEV³, ZAHRA LAKDAWALA⁴, MICHAEL KERSTEN¹

¹ Uni Mainz, Inst. f. Geowissenschaften

² PHREALOG

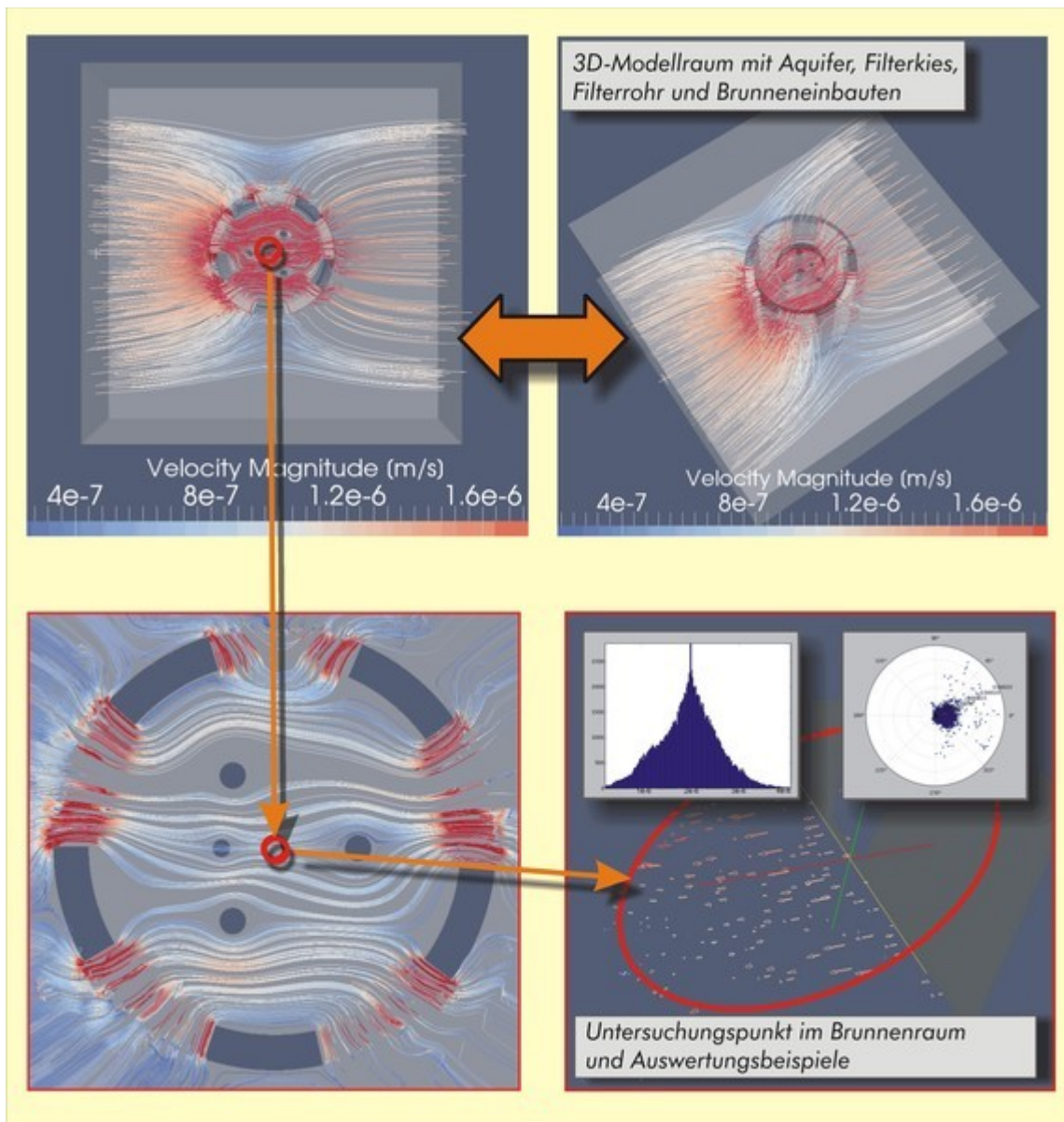
³ Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern

⁴ ITWM, Kaiserslautern

Kontakt: m.schoettler@phrealog.de

Die Kenntnis von der Strömung des Grundwassers ist für viele Aspekte in der Hydrogeologie unerlässlich. Zum grundlegend besseren Verständnis von Fließbewegungen an Brunnen bieten sich rechnergestützte Simulationen an. Hierfür wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ITWM Kaiserslautern ein neuartiger Navier Stokes-Brinkman Gleichungslöser entwickelt. Dieser ist in der Lage gekoppelte Strömungsszenarien aus freiem und porösem Fließen im stationären Zustand zu simulieren. Die Komplexität des Fluidflusses durch Bohrbrunnen lässt sich in verschiedenen Brunnenkonstruktionen und bei verschiedenen hydrodynamischen Szenarien quantitativ simulieren und charakterisieren. Die laufenden Studien umfassen numerische Nachbildungen aus realen Feldmessungen sowie analogen Laborexperimenten. Erkenntnisse aus diesen Arbeiten dienen dem besseren Verständnis der Hydrodynamik in und um Bohrbrunnen, sowie der Weiterentwicklung des PHREALOG-Messsystems.

Vorgestellt wird der Arbeitsablauf von der Modellerstellung in PHREASIM bis zur Evaluierung der Simulationsergebnisse. Der Vergleich von Modellrechnungen mit analogen Laborexperimenten belegt die Plausibilität der realen Fließverhältnisse qualitativ und quantitativ. Weitere Beispiele zeigen den Einfluss von Formfaktoren, wie unterschiedliche Filterrohre und Brunneneinbauten sowie deren geometrische Orientierung zum Grundwasseranstrom als Variation von Geometrien und Randbedingungen im Simulationsmodell. Die Nachbildung von realen Fließregimes am und im Brunnenraum wird genutzt, um Daten aus Durchflussmessungen zu interpretieren und Formvorgaben von Ausbaumaterialien und Brunneneinbauten zu optimieren.



Modelldarstellung und Auswertung

P 1.3

Quantifying the role of immobile water on pollutant fluxes in double-permeable media under dynamic flow conditions

BASTIAN KNORR¹, FLORIAN KRÄMER¹, CHRISTINE STUMPP¹, PIOTR MALOSZEWSKI¹

¹ Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München

Kontakt: Bastian.Knorr@helmholtz-muenchen.de

Sustainable use of water resources and their protection against pollution requires fundamental understanding of filter, buffer and storage functions of groundwater systems. Of particular importance are heterogeneous porous aquifers including zones with mobile and immobile water. Pollutants diffuse from high permeable areas into immobile zones with low permeability. Consequently, pollutants can be stored in such immobile water regions and their residence time in double-permeable aquifers is much longer compared to water residence times. However, it still

remains unknown how the heterogeneity of an aquifer and time-dependent variability of the water flow influences the pollutant fate in such systems. The objective of this study was to develop experimental and mathematical methods to understand the role of immobile water zones on the pollutant retention, kinetic ad-/desorption and degradation. In saturated column experiments at three different flow rates multitracer experiments were conducted and 4-Chloronitrobenzene (intermediate in the production of explosives) was used as pollutant.

The columns were packed with an outer cylinder of clay containing mainly immobile water whereas the centre was filled with coarse quartz sand containing mobile water. In the resulting breakthrough curves of the conservative tracers characterized by different diffusion properties, differences were observed in peak concentration and tailing. These differences indicated a mass exchange with immobile water zones driven by diffusion and were depended on the tracers' molecular diffusion coefficient. The mass exchange increased with decreasing flow rates and was quantified for conservative tracers applying a Single-Fissure Dispersion Model (SFDM) to porous media for the first time.

The observed concentrations of the reactive solute 4-Chloronitronbenzen indicated that sorption onto clay minerals enhanced the mass exchange into the immobile water zone. On the other hand sorption and degradation inhibited the back-diffusion from immobile water to mobile water zones. Mathematical models based on analytical and numerical models have to be further developed to describe and quantify these observed processes. A better understanding about the influence of immobile water and dynamic flow conditions on pollutant transport will help to improve prediction of pollutant fluxes and site remediation techniques and management.

P 1.4

Modellierung zur Bestimmung des Anteils von Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser im Rohwasser des Verbundwasserwerk Witten

CHRISTOPH KNUTH¹, ANDREAS ENGLERT¹, FRANK WISOTZKY¹

¹ Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: christoph.knuth@rub.de

Im Verbundwasserwerk Witten wird für die Trinkwasserversorgung das aufbereitete Oberflächenwasser der Ruhr über Langsamsandfilterbecken versickert und somit das Grundwasser künstlich angereichert. Anschließend wird es durch den Einsatz von zwei Brunnengalerien, die zwischen den Anreicherungsbecken und der Ruhr positioniert sind, wieder gefördert. Unter bestimmten Randbedingungen besteht die Gefahr, dass neben dem angereicherten Grundwasser zusätzlich unbehandeltes Oberflächenwasser der Ruhr in Form von Uferfiltrat in den Grundwasserleiter eintritt und somit in das Rohwasser gelangt.

Um den Anteil des Uferfiltrats an dem geförderten Rohwasser zu untersuchen wurden zunächst ein hydrogeologisches 2D-Vertikal- und ein 2D-Horizontalmodell entwickelt. Hierzu wurden Schichtenverzeichnisse einzelner Bohrungen, aus Pumpversuchen ermittelte Durchlässigkeitsbeiwerte, Pegelstände der Ruhr, Grundwasserstände, die Förderleistungen der aktiven Brunnen, sowie die Beaufschlagungsmengen in den Langsamsandfilterbecken genutzt.

Anschließend wurden die hydrogeologischen Modelle verwendet, um mittels der Software Feflow numerische Fließ- und Transportmodelle zu parametrisieren. Mit verschiedenen Randbedingungen

wurden die aktuellen Betriebszustände simuliert und der Anteil des Uferfiltrats am Rohwasser modelliert. Weiterhin wurde untersucht, welche alternativen Betriebsszenarien Auswirkungen auf den Uferfiltratanteil im Rohwasser haben. Neben der Veränderung des Verhältnisses der Förderleistung zweier Brunnengalerien zueinander wurde auch das Verhältnis der Förderleistung zur Beaufschlagungsmenge variiert. Des Weiteren wurde der Einfluss einer Kolmationsschicht auf den Uferfiltratanteil am Rohwasser untersucht.

Vorherige Schätzungen des Uferfiltratanteils, zeigen, bei tatsächlichen Betriebsszenarien, nur eine geringfügige Abweichung von den Simulationen. So legen die Ergebnisse der numerischen Modellierungen nahe, dass bei den tatsächlichen Betriebsszenarien die modellierten, mittleren Uferfiltratanteile am Rohwasser alle unterhalb von 6 % liegen. In Abhängigkeit der Randbedingungen, insbesondere des Verhältnisses zwischen Ruhrpegel und der Beaufschlagungsmenge kann der mittlere Uferfiltratanteil am Rohwasser auf weniger als 1 % sinken.

Aus dem ersten untersuchten Szenario lässt sich schließen, dass der Uferfiltratanteil gesenkt werden kann, wenn die Förderleistung der Brunnengalerie nahe der Langsandsandfilterbecken höher ist, als die der Brunnengalerie nahe der Ruhr. Das Ergebnis des zweiten Szenarios zeigt, dass eine Kolmationsschicht nur einen geringen Einfluss auf den Uferfiltratanteil hat. Das dritte untersuchte Betriebsszenario, die Veränderung des Verhältnisses von Beaufschlagung zur Förderung, führt zu dem Ergebnis, dass der Uferfiltratanteil am geförderten Rohwasser sinkt, wenn der Anteil der Beaufschlagung größer als die Förderungsmenge ist.

P 1.5

Grundwassermodellbildung – Hydrostratigraphische Bewertungen mittels GCI-PetroKf, Datenbank- und Geoinformationssystemen

ALEXANDER KOCH¹, SVEN FUCHS², PATRICIA GÖBEL¹

¹ Fachbereich Geowissenschaften, Universität Münster

² Department of Geosciences, Aarhus University (Dänemark)

Kontakt: a_koch25@uni-muenster.de

Die Erstellung eines hydrogeologischen Modells ausschließlich auf Basis von Bohrungsinformationen ist eine gleichermaßen häufig anzutreffende, wie auch besondere Herausforderung hinsichtlich der hydraulischen Parametrisierung der Modellschichten (i.e. bei fehlenden hydraulischen Testdaten). Am Beispiel des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“, welches durch zahlreiche Subrosionsstrukturen geprägt ist, stellen wir ausgehend von den dort verfügbaren Bohrungsdaten einen Workflow zur Bildung eines hydrogeologischen Modells vor.

Der hydrostratigraphischen Interpretation des Modellgebietes liegt ein deterministischer Ansatz zur Abschätzung hydraulischer Parameter (i.e. K_f -Wert, Porosität) aus petrographischen Bohrgutbeschreibungen zu Grunde (GCI-PetroKf 2013). Diese Methode basiert auf der Ableitung der Korngrößenverteilung aus der petrographischen Beschreibung der beim Bohren gewonnenen Lockergesteinsproben (Fuchs 2010).

Hierzu wurde die Bohrungsdatenbank (MS Access, 55 Bohrungen, mit freundlicher Unterstützung des Geologischen Dienstes NRW) um die den Grundwasserleiter unterlagernden Festgesteine bereinigt und eine deterministische Schätzung des k_f -Wertes für die quartären Sedimentschichten

vorgenommen. Auf Grundlage der abgeschätzten Durchlässigkeitsbeiwerte und der dokumentierten Schichtmächtigkeiten, wurden die aufgeschlossenen Schichten systematisch nach Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter klassifiziert.

Der bereinigte und berechnete Datensatz wurde schließlich in die Datenbank reimportiert und für die Verwendung in Geoinformationssystemen (i.e. ArcGIS) weiter aufbereitet. Über Interpolationsverfahren konnte innerhalb des Programmes ArcGIS ein lateraler Bezug zwischen den verschiedenen Mächtigkeiten hergestellt werden, um so auf weitere Inhomogenitäten im Aufbau des Grundwasserleiter-Systems schließen zu können.

Anschließend wurden mittels ArcGIS die Quartärbasis des Modellraums konstruiert, sowie Grundwasserisolinien- und Grundwasserdifferenzkarten berechnet. Die Grundwasserdifferenzkarten reproduzieren gut die Grundwasserabsenkungen im Bereich von lokalen Tagebauen. Insgesamt zeigen sich gute Übereinstimmungen mit früheren hydrogeologischen Untersuchungen im Projektgebiet.

Die Kombination des PetroKf-Algorithmus mit der Aufbereitung in einer Datenbank, sowie der Weiterverarbeitung in ArcGIS, zeigt einen praktikablen Weg zur Entwicklung und Parametrisierung eines hydrogeologischen Modells ausschließlich auf Basis von Bohrungsinformationen. Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit (Koch 2013) der Universität Münster durchgeführt.

Fuchs, S. (2010). Deterministische k_f -Wert-Schätzung nach petrographischer Bohrgutansprache. *Grundwasser*, 15(3), S. 177-189.

GCI-PetroKf, V 1.6 (2013): Software zur deterministischen Schätzung von Lockergesteinsparametern aus Bohrgutansprachen. www.gci-kw.de

Koch, A. F. W. (2013). Hydrogeologische Interpretation vorhandener Bohrungen im Bereich des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Recke, Nordrhein-Westfalen). Bachelorarbeit, Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Fachbereich Geowissenschaften, 90 S., [unveröffentlicht].

P 1.6

Box model and numerical simulation of Bosten Lake, Xinjiang, China

NING LI¹, KINZELBACH WOLFGANG, WENPENG LI, XINGUANG DONG

¹ IfU, ETH

Kontakt: ning.li@ifu.baug.ethz.ch

Bosten Lake is located in the southeast of Yanqi Basin, an important agricultural area in Xinjiang, China. All rivers of Yanqi Basin flow from their headwaters to Bosten Lake. The outflow of the lake supports the downstream agricultural and natural environments. The intensive agricultural activities over last decades in the basin resulted in decreased lake levels and deteriorated lake water quality. In order to find solutions for the local water resources management, a two-box model is constructed to understand the development between 1958 and 2008. The two-box model of the lake indicates that the flow budget is easily closed and to achieve salt balance, the ratio of outflow concentration and average lake concentration is around 0.7. This is due to the short-circuiting between lake inflow and the pump stations abstracting water from the lake. This ratio is also supported by a 1D numerical flow and transport model of the lake calibrated with observations of lake level and lake concentrations.

As the lake acts as an integrator of what happens in the agricultural basin, the box model of the lake is sufficient to estimate what changes in upstream. Practices are needed to fulfil requirements for lake quality and lake outflow. Different measures in the basin are compared with respect to their improvement of lake water quantity and quality. Finally a scenario combining measures is suggested. The result shows that this combination of measures is sufficient to bring future lake TDS concentration well below the required 1000 mg/l. At the same time outflow is increased. The model results are subjected to an uncertainty analysis.

P 1.7

Modelling the behaviour of 16 pharmaceuticals during ponded aquifer recharge of treated effluent

THI THUY HANG NHAM¹, JANEK GRESKOWIAK¹, KARSTEN NÖDLER², MOHAMMAD AZIZUR RAHMAN², BERND RUSTEBERG², THOMAS PTAK², MARTIN SAUTER², KLISTHENIS DIMITRIADIS³, THOMAS SPACHOS⁴, TOBIAS LICHA², GUDRUN MASSMANN¹

¹ Department of Biology and Environmental Sciences, Carl von Ossietzky Universität, Ammerländer Heerstraße 114-118, 26129 Oldenburg, Germany

² Geoscience Centre, Applied Geology, University of Göttingen, Goldschmidstr. 3, 37077 Göttingen, Germany

³ Geoservice Ltd, Lykaiou St 35, 114 76 Athens, Greece

⁴ Thessaloniki Water Supply and Sewerage Co S.A, Egnatia St. 127, 546 45 Thessaloniki, Greece

Kontakt: thi.thuy.hang.nham@uni-oldenburg.de

Soil-aquifer treatment (SAT) is a common application of managed aquifer recharge. It utilizes the natural filter and removal capacity of the soil and aquifer to enhance the quality of surface or (treated) waste water for later extraction and water supply. The increasing load of emerging organic contaminants such as pharmaceuticals, waste and surface waters, however, may pose a significant problem for managed aquifer recharge, since many of these substances are recalcitrant even to some degree during subsurface passage. As a result, some of them have already been detected in production wells of riverbank filtration and ponded infiltration systems. Even though the effect on human health has not yet been proven for the detected concentration range (i.e., ng/L to µg/L), the increasing detection of waste water originated compounds is seen to be problematic for a safe water supply.

Predicting the fate of emerging compounds during managed aquifer recharge does not only require a sound understanding about the physical flow and transport processes, but also about the reactive behavior of these substances as a result of biodegradation and sorption processes. However, a detailed process identification at operational scale requires a comprehensive set of hydraulic and hydrogeochemical data (e.g., Greskowiak et al, 2006), which in practise, and thus outside focussed research projects, is rarely available. For practical considerations during managed aquifer recharge operation simple 1st order degradation rate constants and linear adsorption coefficients provide useful information to quantify the removal of problematic compounds for a first-pass assessment (e.g., Patterson et al., 2010). However, to date, only limited information about field scale biodegradation and adsorption parameters is available, raising the urgent need for more field experiments and their quantitative evaluation.

In the present study, a modell-based quantification of a field scale experiment on the transport

behavior of sixteen selected pharmaceuticals during ponded aquifer recharge has been carried out. The experiment has been conducted at a test site in an alluvial aquifer using conventionally treated effluent. With the help of transient flow and reactive transport modelling robust field scale biodegradation and adsorption parameters could be extracted.

Experimental work was funded by the European Commission within the GABARDINE project (518118-1).

Greskowiak, J., Prommer, H., Massmann, G., Nützmann, G. (2006): Modelling seasonal redox dynamics and the corresponding fate of the pharmaceutical residue phenazone during artificial recharge of groundwater. *Environ. Sci. Technol.* 40(21), 6615 – 6621.

Patterson, B., Shackleton, M., Furness, A., pearce, j., descourvieres, c., linge, K., busetti, f., spadek, t. (2010): Fate of nine recycled water trace organic contaminants and metal(loid)s during managed aquifer recharge into a anaerobic aquifer: Column studies. *Water Res.* 44, 1471 – 1481.

P 1.8

Coupling Hydrogeosphere and PEST for the inversion of steady and transient-state hydraulic tomography data sets

EDUARDO EMILIO SÁNCHEZ-LEÓN¹, CLAUS HASLAUER¹, CARSTEN LEVEN¹

¹ **Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen**

Kontakt: carsten.leven-pfister@uni-tuebingen.de

Hydraulic head measurements acquired during consecutive cross-hole pumping tests with multiple pumping and observation locations contain non-redundant information about aquifer heterogeneity. Such hydraulic tomographic methods are therefore a promising technique to reconstruct an aquifer's hydraulic conductivity (K) distribution from large datasets of head measurements by inverse parameter estimation schemes. However, the non-uniqueness of inverse problems requires solutions based typically on regularization schemes. For this work, a numerical groundwater flow model (HydroGeoSphere) and the parameter estimation software PEST were coupled. A pilot points based spatial regularization scheme was employed to invert hydraulic tomography data sets for reconstructing 3D K-fields. For this purpose, a synthetic flow model with known structure of spatially distributed K field was used to generate flow simulations with subsequent inversion of the simulated head measurements. These simulations were used to assess to which degree the synthetic K-field could be reproduced.

Both steady-state and transient-state hydraulic tomography data sets were analyzed, each with eight simulated sequential pumping tests for comparison with the reference field and between the inversion results. For better numerical stability Tikhonov regularization and truncated Singular value decomposition were included into the inversion process. Due to the computational burden – especially in transient conditions – so-called super-parameters were employed, which are linear combinations of the base parameters that are actually adjusted during the inversion process.

A sensitivity analysis was carried out to define the ideal number and spatial distribution of pilot points that would extract as much information as possible from the underlying dataset. The inversion was performed on hydraulic head measurements recorded during a field campaign at the Lauswiesen test site of the University of Tübingen. During the experiment, transient head data was collected during nine short term sequential pumping tests with a total of 40 observation locations.

The employed inversion approach allowed to recover major components of the spatial structure of the hydraulic conductivity distribution at the test site.

P 1.9

Modellierung von durch Sorptionsvorgänge verursachten Beschaffenheitsveränderungen im strömenden Grundwasser

RALPH SCHÖPKE¹

¹ LS Wassertechnik&Siedlungswasserbau, BTU Cottbus.Senftenberg

Kontakt: schoepke@tu-cottbus.de

Ionenaustausch- oder allgemeiner Sorptionsprozesse im Aquifer bestimmen maßgeblich die Beschaffenheitsveränderungen im strömenden Grundwasser. Besonders auffällige Beschaffenheitsveränderungen werden ausgelöst, wenn in bisher unbeeinflusste Grundwasserleiter Wasserkörper mit extrem abweichender Beschaffenheit einströmen. In vielen Fällen hat das anthropogene Ursachen, z. B. als Folge von Bergbau- und Energiewirtschaft.

Ältere Nassaschedeponien setzen stark alkalisches oft gipsgesättigtes Wasser frei. Bergbauversauerte Grundwässer (AMD) sind ebenfalls hochmineralisiert und über überwiegend hoch mit zweiwertigem Eisen belastet. Deren Bildung im sauren Milieu und ihr späteres Verhalten beim Abstrom können sehr unterschiedliche Beschaffenheitsprobleme auslösen. Auch Maßnahmen zur Sanierung dieser Grundwasserkörper, z. B. durch mikrobielle Sulfatreduktion führen zu erheblichen Beschaffenheitsschwankungen im Abstrom.

Für die Beschreibung von Sorptionsprozessen enthält das geochemische Simulationsprogramm PhreeqC2 den weniger geeigneten Ionenaustausch und den Ansatz über die Bildung von Oberflächenkomplexen. Das Problem liegt in der Kalibrierung der Oberflächenkomplexbildung. Während entsprechende Konstanten für die Adsorption an amorphem Eisenhydroxid bekannt sind, muss für die Interaktion Grundwasser- Feststoffoberfläche eine eigene Oberfläche definiert werden. Ergebnisse aus der bodenkundlichen Bestimmung der Kationenaustauschkapazität lassen sich dabei nur bedingt übertragen. Auch sind verschiedene Oberflächen von der Scherfläche der Porenkanalströmung bis hin zur Adsorptionsoberfläche zu bewerten.

Aus verschiedenen Untersuchungen konnten durch Anpassung von Messergebnissen anwendungsspezifische Modellansätze zusammengestellt und angewendet werden.

Die pleistozänen Grundwasserleiter besitzen ein erhebliches Basenneutralisationsvermögen beim Einleiten von Aschewässern. Doch die hohen Calciumkonzentrationen vermögen im Abstrom adsorbiertes Eisen soweit zu mobilisieren, das diese Grundwässer sich nicht mehr wirtschaftlich zu Trinkwasser aufbereitet lassen. Dieser Zusammenhang ließ sich aufklären.

Nach Abschluss des Braunkohlebergbaus breiten sich nach Auffüllung des Absenkungstrichters bergbauversauerte Grundwässer (AMD) in die angrenzenden Gewässer aus. Dort können sie die Wasserversorgung durch stark steigende Eisen- und Sulfatkonzentrationen erheblich stören. In Oberflächengewässern fällt das Eisen als Eisenhydroxid aus, wobei der pH-Wert absinkt und sich braune Beläge am Ufer und auf Pflanzen bilden. Die braune Eisenhydroxidtrübung erregt auch als Braune Spree erhebliches Aufsehen in der Bevölkerung. Über die Modellierung lässt sich für den Transport der hohen Eisenbelastung durch den Grundwasserleiter ein Prognosetool aufbauen.

Koch, R.; Schöpke, R.; Mangold, S.; Regel, R.; Striemann A. (2006): Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Untergrundentsäuerung von Kippengrundwässern; Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft und Umwelt, Bd.11

Schöpke, R.; Gast, M.; Walko, M.; Regel, R.; Koch, R.; Thürmer, K. (2011): Wissenschaftliche Auswertung von Sanierungsversuchen zur Untergrundsulfatreduktion im ehemaligen Lausitzer Bergbaurevier; Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft und Umwelt Bd.21

P 1.11

Harmonische Schwankungen im Grundwasserleiter zur Parametrisierung von Grundwassermodellen am Fallbeispiel des Unteren Lechs

FLORIAN STEFFINGER¹, BERNHARD KÜHNEL², GERHARD HAIMERL², RALF KLOCKE², BERNHARD KEIM¹

¹ Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH

² Bayerische Elektrizitätswerke GmbH

Kontakt: steffinger@kobus-partner.com

Im Projektgebiet wird der Wasserstand des Unteren Lechs im Tagesrhythmus durch die Wasserkraftnutzung moduliert. Diese Schwingungen des Wasserspiegels übertragen sich auf den Grundwasserleiter und sind auch an vom Lech entfernten Grundwassermessstellen festzustellen, allerdings mit reduzierter Amplitude und einer zeitlichen Verschiebung.

Für einen harmonisch angeregten, gespannten Grundwasserleiter existiert nach Kinzelbach et al. (2005) eine Lösung der entsprechenden Differentialgleichung. Aus der Lösung geht hervor, dass Amplitudenreduktion und Phasenverschiebung Funktionen der Anregungsfrequenz, von Speicherkoeffizient und Transmissivität sowie von der Entfernung zum Gewässer sind.

Die Auswertung der Messungen von Wasser- und Grundwasserspiegel an einigen Messstellen des Unteren Lechs zeigen deutlich, dass die Schwankung des Wasserspiegels im untersuchten Fall bei der Übertragung in den Grundwasserleiter eine zusätzliche Minderung und Verzögerung erfährt. Dies ist auf die Art der Kopplung des Lechs an den Grundwasserleiter zurückzuführen. Unter Berücksichtigung dieser Komponenten können Rückschlüsse auf Speicherkoeffizient und Transmissivität im Projektgebiet gezogen werden.

Ein bereits bestehendes, horizontal ebenes numerisches Grundwassermodell im Projektgebiet wurde angepasst um eine bessere Abbildung der gemessenen Verhältnisse zu gewinnen. Hier zeigte die Analyse, dass nur durch die Annahme von lokal teilgespannten Verhältnissen eine verbesserte Nachbildung möglich war. Die Analyse zeigte jedoch auch, dass lokal variierende Untergrundeigenschaften sehr wahrscheinlich sind.

Die gewonnenen Erkenntnisse können als zusätzliche Informationen zur Parametrisierung eines Modells genutzt werden.

2 Hydrogeology of hard and jointed rock / Groundwater and karst

Oral Presentations

O 2.1: H17, NW II, 29.05.2014, 10:00-10:20

Schwellenwerte in Karstgrundwasserleitern am Beispiel der Hammerbachquelle (Österreich)

STEFFEN BIRK¹, CYRIL MAYAUD¹, THOMAS WAGNER¹

¹ Institut für Erdwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz

Kontakt: steffen.birk@uni-graz.at

Wenn kleine Änderungen von hydrologischen Zustandsgrößen ausreichen, um qualitative Veränderungen in Bezug auf einzelne Prozesse, das Ansprechverhalten oder die Funktionsweise des Systems herbeizuführen, spricht man von Schwellenwertverhalten (Zehe & Sivapalan, 2009). Ein bekanntes Beispiel ist der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung, der eintritt, wenn die Reynoldszahl einen empirischen Schwellenwert überschreitet.

In der Nähe von Schwellenwerten führen bereits geringfügige Unsicherheiten in Modell-eingangsgroßen (z. B. Niederschlag) zu großen Unsicherheiten in der Modellprognose (z. B. Quellschüttung). Das Schwellenwertverhalten hydrologischer Systeme erschwert daher Prognosen beispielsweise in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels.

In der vorliegenden Arbeit werden unterschiedliche Arten von Schwellenwerten in karsthydrologischen Systemen vorgestellt. Am Beispiel der Hammerbachquelle (Österreich) wird einerseits untersucht, inwieweit Schwellenwerte die Vorhersagbarkeit des Systems einschränken. Andererseits wird versucht, aus Kenntnissen bezüglich des Schwellenwertverhaltens Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Karstsystems zu ziehen.

Seit einem Hochwasserereignis im August 2005 zeigt die Hammerbachquelle über mehrere Jahre ein augenscheinlich verändertes Schüttungsverhalten, das sich in Änderungen der Dauerlinie und der Trockenwetterfalllinie manifestiert (Mayaud et al., 2013). Als Ursache werden Sedimentumlagerungen vermutet, die zu einer Verengung oder Verstopfung von Fließwegen geführt haben. Wagner et al. (2013) zeigen, dass die beobachtete Veränderung das Versagen eines auf Zeiträume vor 2005 kalibrierten und validierten Niederschlags-Abfluss-Modells zur Folge hat. Offenbar wurde beim Hochwasserereignis ein Schwellenwert überschritten, sodass sich die Eigenschaften des Karstgrundwasserleiters signifikant verändert haben und das zuvor gültige Modell nicht mehr prognosefähig ist.

Um die Veränderungen im Karstsystem besser zu verstehen, wurden zusätzlich Zeitreihen physiko-chemischer Parameter ausgewertet. Die Temperatur spricht im Zeitraum vor dem Hochwasserereignis deutlich, danach jedoch praktisch nicht mehr auf Abflussereignisse an. Die elektrische Leitfähigkeit zeigt dagegen kein auffällig verändertes Ansprechverhalten. Zudem zeigt ein nach 2005 durchgeführter Markierungsversuch eine gegenüber früheren Versuchen erhöhte Verweilzeit.

Um diese Beobachtungen quantitativ zu interpretieren, können Schwellenwerte der Verweilzeit hergeleitet werden, bei deren Überschreiten mit einer starken Dämpfung des jeweiligen physiko-

chemischen Signals zu rechnen ist. Dabei zeigt sich, dass das veränderte thermische Verhalten im Einklang mit der im Markierungsversuch beobachteten Zunahme der Verweilzeit ist. Die Betrachtung von Schwellenwerten erweist sich hier also als hilfreich bei der Charakterisierung des Karstsystems.

Mayaud, C, Wagner, T., Benischke, R., Birk, S. (2013): Understanding changes in the hydrological behaviour within a karst aquifer (Lurbach system, Austria). Carbonates and Evaporites, doi: 10.1007/s13146-013-0172-3.

Wagner, T., Mayaud, C., Benischke, R., Birk, S. (2013): Ein besseres Verständnis des Lurbach-Karstsystems durch ein konzeptionelles Niederschlags-Abfluss-Modell. Grundwasser, doi: 10.1007/s00767-013-0234-4

Zehe, E. & Sivapalan, M. (2009): Threshold Behaviour in Hydrological Systems as (Human) Geo-Ecosystems: Manifestations, Controls, Implications. Hydrology and Earth System Sciences 13 (7): 1273–1297.

O 2.2: H17, NW II, 29.05.2014, 10:20-10:40

Anwendung von Hybridmodellen zur großskaligen Charakterisierung von Karsteinzugsgebieten durch die systematische Analyse von Großpumpversuchen

MARKUS GIESE¹, THOMAS REIMANN², RUDOLF LIEDL², JEAN-CHRISTOPHE MARÉCHAL³, TOBIAS GEYER⁴

¹ Geowissenschaftliches Zentrum, Universität Göttingen

² Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden

³ Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM- EAU/RMD), Montpellier, Frankreich

⁴ Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg

Kontakt: mgiese@gwdg.de

Die Entwicklung eines Karströhrensystems in einem Karbonatgrundwasserleiter hat entscheidenden Einfluss auf die hydraulischen Eigenschaften und somit auf die Entwässerung des Einzugsgebietes. Neben der geklüfteten Festgesteinsmatrix, die durch eine hohe Wasserspeicherfähigkeit und eine geringe hydraulische Leitfähigkeit gekennzeichnet ist, führen hochdurchlässige Röhrenstrukturen zu einer einzugsgebietsweiten Entwässerung und fokussierten Abfluss auf einzelne Quellen. Als Folge der hohen Durchlässigkeit lokaler Röhrensysteme entstehen innerhalb verkarsteter Grundwasserleiter komplexe Fließregime. Ein Ansatz zur integralen Charakterisierung von Karstgebieten auf Einzugsgebietsskala ist die Auswertung von Großpumpversuchen, bei denen über einen langen Zeitraum mit einer hohen Pumprate Wasser direkt aus der Röhrenstruktur entnommen wird. Die Auswertung von Pumpversuchen erfordert die Anwendung von Modellansätzen, welche die komplexen hydraulischen Parameterfelder, Fließregime und Randbedingungen simulieren können.

Die vorliegende Arbeit beschreibt hierzu die Anwendung des weiterentwickelten MODFLOW-2005 Conduit Flow Process (CFP, Reimann et al., 2013) für die systematische Auswertung von Absenkkurven, welche für verschiedene Szenarien in Vorwärtsmodellen simuliert wurden. Durch die Implementierung eines dynamischen Röhrenspeichers und verschiedener Randbedingungen können unterschiedliche Heterogenitäten modelliert werden, die in natürlichen Karstgebieten zu beobachten sind. Hierbei werden besonders der Einfluss der Lage und der Geometrie von Röhrensystemen (Einzelröhre, Netzwerk- und Maschensysteme) auf Absenkkurven untersucht. Die simulierten Absenkkurven im Pumpbrunnen werden systematisch mit verschiedenen Diagnosewerkzeugen für die Analyse von Pumpversuchen ausgewertet. Neben den

weitverbreiteten diagnostischen Abbildungen (z.B. log-log-plot kombiniert mit der Ableitung der Absenkung) wird auch der Verlauf der Fließdimension über die Zeit ausgewertet.

Die Ergebnisse dieser systematischen Auswertung zeigen deutlich den jeweiligen Einfluss von verschiedenen karsttypischen Heterogenitäten auf die verschiedenen Phasen der Absenkkurve. Basierend auf den Ergebnissen der synthetischen Modelle wird weiterführend die Auswertung eines realen Großpumpversuches durchgeführt.

Reimann, T., Giese, M., Geyer, T., Liedl, R., Maréchal, J. C., Shoemaker, W. B., 2013: Representation of water abstraction from a karst conduit with numerical discrete-continuum models. HESSD, 10, pp 4463-4487, doi:10.5194/hessd-10-4463-2013.

O 2.3: H17, NW II, 29.05.2014, 10:40-11:00

Das „World Karst Aquifer Mapping Project“ (WOKAM)

NICO GOLDSCHIEDER¹, ZHAO CHEN¹, WOKAM-TEAM

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Abt. Hydrogeologie, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: goldscheider@kit.edu

Nach Schätzungen von Ford & Williams (2007) bilden Carbonatgesteine, wie Kalkstein und Dolomit, etwa 12 % der globalen eisfreien Landoberfläche. Die meisten dieser Gesteine sind verkarstet. Die gleichen Autoren schätzen, dass etwa 25 % der Weltbevölkerung zumindest teilweise Trinkwasser aus dem Karst beziehen. Gleichzeitig sind Karstaquifere aufgrund ihrer speziellen hydrogeologischen Eigenschaften besonders verletzlich gegenüber Schadstoffeinträgen und besonders schwierig zu bewirtschaften. Zudem sind viele Karstaquifersysteme sehr großräumig und müssen daher grenzüberschreitend bewirtschaftet und geschützt werden.

Um einen besseren weltweiten Überblick der Karstaquifere zu erhalten sowie als Grundlage für grenzüberschreitendes und globales Wasserressourcen-Management und um das Bewusstsein für diese besonderen Ressourcen zu verstärken, wurde 2012 das „World Karst Aquifer Mapping Project“ (WOKAM) ins Leben gerufen. Ziel dieses Projektes ist es, eine Weltkarte der Karst-Grundwasserleiter zu erstellen, als Weiterentwicklung und Verfeinerung früherer Karten, u.a. von Ford & Williams (2007). Auf der neuen Karte sollen nicht nur die anstehenden Carbonatgesteine, sondern auch die tiefen und überdeckten Karstaquifere dargestellt werden, sowie wichtige Karstquellen, Trinkwasserfassungen und Höhlen. Die Karst-Aquifer-Karte soll die bereits existierende Grundwasser-Weltkarte WHYMAP (Struckmeier & Richts 2006) ergänzen und basiert auf der lithologischen Weltkarte GLiM von Hartmann & Moosdorf (2012).

Es handelt sich um ein Projekt der IAH Karst Commission, das von der IAH finanziell unterstützt wird und an dem zahlreiche internationale Karst-Experten beteiligt sind, sowohl beim Sammeln und Auswerten der Daten, als auch in einem Scientific Advisory Board, das sich regelmäßig trifft. Auf dieser Tagung werden erstmals die Grundlagen dieses Projekts, die Legende, die Struktur und die ersten Inhalte der Datenbank sowie die ersten Entwurfskarten von Europa, Asien und Nordamerika vorgestellt und diskutiert.

Ford, D., Williams, P., 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley.

Hartmann, J., Moosdorf, N., 2012. The new global lithological map database GLiM: A representation of rock properties at the Earth surface. Geochemistry Geophysics Geosystems 13, Q12004.

Struckmeier, W., Richts, A., 2006. WHYMAP and the World Map of Transboundary Aquifer Systems at the scale of 1:50 000 000. Episodes 29, 274-278.

Auswirkungen von Hangzerreißungsklüften auf die Grundwasserströmung im Buntsandstein

BERND HANAUER¹

¹ HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH

Kontakt: bernd.hanauer@buero-hg.de

In vielen Buntsandstein-Gebieten ist festzustellen, dass entlang von Talstrukturen und talparallelen Hangzerreißungszonen in Folge verstärkter Klüftung eine erhöhte Gebirgsdurchlässigkeit gegeben ist. Im Einzugsgebiet der Trinkwasserbrunnen der Gemeinde Mömlingen in Unterfranken ist dies in besonders klarer Weise durch Erkundungsergebnisse und Geländebeobachtungen nachvollziehbar.

Hydraulische Versuche belegen die erhöhte Gebirgsdurchlässigkeit entlang der Talstruktur und der talparallelen Hangzerreißungszonen und die drastische k_f -Wert-Reduzierung zur Bergseite hin.

Die hohe Durchlässigkeit der Hangzerreißungszone führt zur Ausbildung einer Grundwasserkaskade auf der Nordseite des Mömlingtals. Auf der südlichen Talseite erfolgt über die Hangzerreißungsklüfte die Entwässerung des regionalen Buntsandstein-Aquifers über starke Quellen (Quelltöpfe mit sichtbarem Aufquellen und erkennbarer Erosionswirkung des aufsteigenden Grundwassers). Es sind hier Phänomene sichtbar, wie sie aus Karstgebieten bekannt sind.

Die starke Vorflutwirkung der Hangzerreißungsklüfte auf der südlichen Talseite führt in Verbindung mit der abschnittswisen Entkopplung von Fließgewässer und Aquifer dazu, dass die im regionalen Maßstab als Vorfluter anzusehende Mömling bereichsweise unterströmt wird und die Entwässerung des Buntsandstein-Aquifers südwestlich von Mömlingen primär über die oben beschriebenen Quelltöpfe erfolgt. Dies lässt sich sowohl anhand von Grundwasserstands- und Wasserspiegelmessungen von den Fließgewässern nachvollziehen (Grundwassergleichenpläne), als auch anhand von hydrochemischen Messungen. Diese belegen für den maßgeblichen Trinkwasserbrunnen als auch für die oben beschriebenen Quellen einen qualitativ prägenden Einfluss von kalkhaltigem Gestein. Diese kommen nur nördlich der Mömling vor, wo Löß/Lößlehm und Löß-/Lößlehm-haltige Buntsandsteinschotter flächenhaft verbreitet sind. Zudem belegen hydrogeologische Kartierergebnisse (abschnittswise NW-Abflussmessungen), dass in diesem Bereich ein schwebendes Nebengewässer der Mömling in den Untergrund infiltriert.

Die hydrochemischen Messungen belegen in Verbindung mit den Ergebnissen eines Markierungsversuchs (Markierung der Mömling mit SF_6 , dass entlang der Mömling keine Infiltration innerhalb des Einzugsgebietes des maßgeblichen Trinkwasserbrunnens und der o. g. Quellen erfolgt bzw. hier kein Uferfiltrateinfluss feststellbar ist.

Insgesamt zeigt sich in diesem Gebiet eine komplexe Grundwasserströmung im Buntsandstein, die entscheidend durch die Wirksamkeit hochdurchlässiger Hangzerreißungszonen geprägt ist. Die quantitative Analyse dieser Grundwasserströmungsverhältnisse erforderte die gesamthafte Bewertung hydraulischer und hydrochemischer Daten sowie hydrogeologischer Kartierergebnisse (Geländebegehungen, Feldmessungen). Hierdurch konnte ein konsistentes hydrogeologisches Modell für das Untersuchungsgebiet entwickelt werden, das bis Ende 2013 durch ein numerisches Grundwassersmodell überprüft wird.

Reduktion der Mehrdeutigkeit der numerischen Strömungs- und Transportmodellierung heterogener Karstsysteme

SANDRA OEHLMANN¹, TOBIAS GEYER², TOBIAS LICHA¹, MARTIN SAUTER¹

¹ Angewandte Geologie, Georg-August-Universität Göttingen

² Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg

Kontakt: soehlma@gwdg.de

Die distributive numerische Modellierung ist ein effektives, prozessbasiertes Werkzeug für die Prognose der Grundwasserverfügbarkeit und –gefährdung. Problematisch ist in heterogenen Karstsystemen vor allem die Erstellung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells, denn die Lage und Eigenschaften hochdurchlässiger Kluftsysteme und Karströhren sind in der Regel unbekannt. Deswegen sind die meisten numerischen Standortmodelle von Karsteinzugsgebieten lediglich in der Lage entweder die Verteilung der Grundwasserdruckhöhen im Gebiet oder die Durchbruchkurven von Markierungsversuchen zu simulieren, obwohl für Prognosezwecke beide Beobachtungen von essentieller Bedeutung sind.

In dieser Arbeit wurde ein Grundwasserströmungs- und Transportmodell für ein gut untersuchtes Karstgebiet in Südwest-Deutschland erstellt. Zu diesem Zweck wurde in die Software Comsol Multiphysics® ein Interface für den Stofftransport in ein-dimensionalen Röhren, die an eine umliegende drei-dimensionale Gesteinsmatrix gekoppelt sind, implementiert. Die Simulation wurde sowohl auf die stationäre Grundwasserdruckhöhenverteilung und die Quellschüttungen mehrerer Quellen als auch die Transportgeschwindigkeiten mehrerer Markierungsversuche kalibriert. Zudem lagen eine Reihe weiterer gemessener Parameter wie die hydraulische Leitfähigkeit der Matrix und das maximale Karströhrenvolumen vor, um das Modell zu kalibrieren. Parameterstudien wurden für verschiedene Geometrien durchgeführt, um die Einflüsse in einem großflächigen, heterogenen Einzugsgebiet zu ermitteln.

Die Simulation ermöglicht die Erstellung eines prozessbasierten mathematischen Modells, das unter Berücksichtigung aller gemessenen Parameter und Randbedingungen die Zielgrößen wiedergibt. Zudem wird gezeigt, dass durch die Kombination mehrerer Zielgrößen die Mehrdeutigkeit des Modells stark reduziert wird und eindeutige Rückschlüsse auf das Karströhrenvolumen gezogen werden können.

The latest results on colloid associated radionuclide mobility from the CFM project, Grimsel (Switzerland)

THORSTEN SCHÄFER¹, INGO BLECHSCHMIDT², JOCELYNE BRENDLÉ³, WOLFGANG HAUSER¹, STEPHANIE HECK¹, FLORIAN HUBER¹, MARKUS LAGOS¹, ANDREW MARTIN², PAUL REIMUS⁴

¹ Institut für Nukleare Entsorgung (INE), KIT

² NAGRA, Wettingen, Switzerland

³ Lab. Mat. Mineraux, UMR CNRS, Mulhouse, France

⁴ Los Alamos National Laboratory, NM, USA

Kontakt: thorsten.schaefer@kit.edu

The influence of colloidal/nano-scale phases on the radionuclide (RNs) solubility and migration behavior is still one of the uncertainties in repository safety assessment [1]. Within the Colloid Formation and Migration (CFM) project at the Grimsel Test Site (GTS Switzerland) a huge geo-technical effort was taken to isolate hydraulically a shear-zone from the artificially introduced hydraulic gradient due to the tunnel construction. The construction is a combination of polymer resin impregnation of the tunnel surface and a steel torus to seal the tunnel surface. Natural outflow points of the MI shear zone were localized prior to the construction and sealed by surface packers. This design gives the opportunity to adjust the flow velocity in the fracture.

After optimization of the experimental setup and injection procedure through a number of conservative tracer tests a license was granted in January 2012 by the Swiss regulator (BAG) to perform the first radionuclide tracer test under these low-flow conditions. The injection cocktail of 2.25L volume consisted of 101.4 ± 2.5 mg/L montmorillonite clay colloids, whereas 8.9 ± 0.4 mg/L were present as synthetic montmorillonite with structural incorporated Ni. For details on the structural characterization of the Ni-montmorillonite phyllosilicate, see [2]. Beside the colloids and the conservative tracer Amino-G (1646 ± 8 ppb) the radioisotopes ^{22}Na , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{237}Np , ^{242}Pu and ^{243}Am were injected. The trivalent and tetravalent actinides were quantitatively associated with the colloids present as well as a part of the Cs, whereas Np(V) and Na are not bentonite colloid bound.

For on-site colloid analysis a mobile Laser- Induced Breakdown Detection (LIBD) system similar to the one used in the CRR experiments [3] was transferred to Grimsel and installed in-line at the "Pinkel" outlet to directly monitor the mobile colloid fraction throughout the experiment.

The conservative tracer Amino-G was recovered quantitatively and for the weakly sorbing tracers analyzed by gamma-spectrometry recoveries for ^{22}Na , ^{137}Cs and ^{133}Ba of 64%, 10% and 1%, respectively, were found. The clay colloid recovery determined by LIBD and HR-ICP-MS analyzing Al and Ni as structural components of the clay particles provided 48-52%.

For the initial quantitatively colloid associated actinides Am(III) and Pu(IV) a recovery of 21-22% and 30-35%, respectively, could be determined. Np recovery is significantly reduced to ~4 %, which hints to a kinetic controlled Np(V) reduction. The data obtained so far clearly show the mobility of bentonite derived montmorillonite colloids under near-natural flow conditions in the MI shear zone of the Grimsel Test Site [4]. The experimental data will be discussed in detail in the presentation.

[1] T. Schäfer, et al. Appl. Geochem., 27 (2012) 390-403.

- [2] Reinholdt, et al., *Nanomaterials*, 3 (2013) 48-69.
[3] H. Geckeis, et al., *Radiochim. Acta*, 92 (2004) 765-774.
[4] www.grimself.com

O 2.7: H17, NW II, 29.05.2014, 12:20-12:40

Tiefenwässer im Aquifersystem Oberer Muschelkalk zwischen Stuttgart und der Schwäbischen Alb – eine konzeptionelle Modellstudie

WOLFGANG UFRUCHT¹

¹ Amt für Umweltschutz, Stadt Stuttgart

Kontakt: wolfgang.ufrecht@stuttgart.de

Zwischen Stuttgart und der Schwäbischen Alb erschließen auf einer Fläche von achttausend Quadratkilometern 20 Tiefbrunnen thermale und zum Teil kohlenstoffführende und mineralisierte Tiefenwässer im Oberen Muschelkalk zur balneologischen Nutzung und Mineralwassergewinnung.

Auf Basis von hydraulischen Daten (Piezometerhöhen, hydraulische Kennwerte) im Verschnitt mit Isotopenuntersuchungen ($d^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $d^{18}\text{O}$, $d^2\text{H}$) und Edelgasbestimmungen wird eine konsistente hydrogeologische Modellvorstellung für das tiefe Aquifersystem entwickelt und dabei auf die relevanten Kernpunkte der Grundwasseralimentation (Zeit und Ort der Grundwasserneubildung), der Fließdynamik und insbesondere der Mechanismen der Aufkonzentrierung des Tiefenwassers eingegangen.

Für eine konsistente Beschreibung des Systems wurde Wert auf die Strukturierung des Modellraums gelegt und für den Oberen Muschelkalk sowie für die hydrostratigraphischen Einheiten im Liegenden und Hangenden unter Berücksichtigung der Paläogeographie Fazieskarten und tektonische Strukturkarten erstellt. Es gelang für die Liegend- und Hangendstockwerke Zonen mit potentiell vertikal geringdurchlässiger Beckenfazies (Tonstein mit Mergelstein und Anhydrit) gegenüber vertikal durchlässiger Randfazies (Sandstein-Tonsteinfolgen) auszuweisen. In der Funktion als hydraulisches Fenster ermöglicht diese die vertikale Interaktion zwischen den Stockwerken. Aus der Kenntnis der Struktureinheiten im Verschnitt mit hydraulischen Kenngrößen und Isotopendaten konnten für den Oberen Muschelkalk die recharge-Gebiete und die Bereiche mit aufsteigenden Solen ausgewiesen werden, die für die Aufkonzentrierung der Wässer im Oberen Muschelkalk verantwortlich sind.

Eine quantitative Umsetzung des konzeptionellen Modells erfolgte mit einem numerischen Grundwasserströmungsmodell. In verschiedenen Szenarien wird die hydraulische Korrespondenz zwischen den Stuttgarter Mineralquellen und dem tiefen Aquifersystem des Albvorlands untersucht, die in Stuttgart in Zusammenhang mit Fragen des Heilquellenschutzes diskutiert wird.

Particle Tracking in heterogenen geklüfteten sedimentären Formationen – Anwendung auf die Effinger Schichten

MATTHIAS WILLMANN¹, ALINA TYUKHOVA¹, WOLFGANG KINZELBACH¹

¹ Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich

Kontakt: willmann@ifu.baug.ethz.ch

In der Schweiz werden zur Zeit verschiedene geklüftete sedimentäre Formationen auf ihr Potential als mögliche nukleare Endlagerstandorte untersucht.

Um Transport in grossskaligen, heterogenen Modellen mit mehreren Millionen Zellen zu untersuchen, muss Particle Tracking angewendet werden, da eine direkte Lösung der Transportgleichung numerisch zu aufwendig ist. Da in sedimentären Formationen die Durchflüsse in der Matrix oft in der selben Grössenordnung wie in den Klüften sind, kann die Matrix nicht – wie in kristallinen Formationen – ignoriert oder als Matrixdiffusion angenähert werden. Die direkte Berechnung von Partikelpfaden in Klüften und Matrix ist konzeptionell schwierig. Die Hauptprobleme sind: (1) das Verhindern des Überspringens von Klüften, wenn Partikel sich in der Matrix bewegen, und (2) das unklare Verhalten beim Ausspülen der Partikel aus den Klüften.

Wir haben eine neue Particle Tracking Methode entwickelt, die diese Probleme löst (Willmann et al., 2013). Analog zu den meisten Strömungssimulationen nehmen wir unser Medium als eine Superposition von 3D Matrixströmung und 2D Kluffströmung an. Diese Systeme könne Partikel austauschen; nur dass der Austausch von Partikeln nicht nur - wie bei der Strömung - an den Knoten stattfindet, sondern auf der gesamten Fläche der Klüfte. Als Vereinfachungen wird das Kluffsystem als orthogonal angenommen, wie es in Hydrogeosphere implementiert wurde (Graf & Therrien, 2008). Komplexe Kluffsysteme müssen daher gut aufgelöst werden um die nötige Genauigkeit der Strömungsfelder zu erhalten. Da aber die Strömungssimulationen der zeitaufwendigste Teilschritt ist, stellt dies in den meisten Fällen kein Problem dar. Durch das orthogonale Kluffsystem kann die Pollockmethode (Pollock, 1994) verwendet werden, die die Partikelschritte immer bis zum Zellenrand rechnet und so nur nach jedem Partikelschritt in der Matrix geprüft werden muss, ob sich am jeweiligen Zellenrand eine Kluff befindet. Die Auswaschung der Klüfte wurde in Abhängigkeit der jeweiligen Matrixströmung und der Kluffbreite gerechnet.

Die neu entwickelte Methode wurde schliesslich auf die Effinger Schichten (Gautschi & Schnellmann, 2007) angewandt, einer Formation in der Nordostschweiz, die gegenwärtig als möglicher Endlagerstandort untersucht wird. Die Ergebnisse wurden dann in Bezug auf effektive Transporteigenschaften dieser Formation analysiert.

Gautschi, A. & A. Schnellmann (2007): Konzeptuelles hydrogeologisches Modell der Effinger Schichten. AN 07-205, Nagra Bericht, Wettingen.

Graf, T. & R. Therrien (2008): A method to discretize non-planar fractures for 3D subsurface flow and transport simulations, *Numerical Methods in Fluids*, 56(11), 2069-2090.

Pollock, D. (1994): User's Guide for MODPATH/MODPATHPLOT, Version 3: A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the USGS finite difference groundwater flow model, USGS Open-File Report 94, 234p.

Willmann, M., G. W. Lanyon, P. Marschall & W. Kinzelbach (2013): A new stochastic particle-tracking approach for fractured sedimentary formations, *Water Resour. Res.*, 49, doi:10.1029/2012WR012191.

Poster

P 2.1

Abschätzung der hydraulischen Durchlässigkeit im tiefen kristallinen Untergrund des Erzgebirges

P. ACHTZIGER¹, S. LÖW¹, A. HILLER², CH. STARKE³

¹ ETH Zürich, Geologisches Institut, Sonneggstr. 5, CH-8092 Zürich

² Wismut GmbH, Bereich Sanierung Aue/Königstein, Postfach 1653, D-08276

³ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat Ingenieurgeologie, Postfach 540137, 01311 Dresden

Kontakt: peter.achtziger@erdw.ethz.ch

Das Erzgebirge ist eine der ältesten Bergbauregion der Welt. Der jüngere Bergbau in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts erfolgte bevorzugt auf Uran. Der Hunger vor allem nach Pechblende machte genaue geologische und hydrogeologische Aufnahmen durch die SAG/SDAG Wismut notwendig und schuf somit einzigartige dreidimensionale, hydrogeologisch-tektonisch-mineralogische Datensätze in einer selten gekannten Präzision.

In dieser Studie wurden Zuflussdaten von mehr als 2600 Einzelzuflusspunkten verteilt auf etwa 450 km Strecke in 2 Gruben, 2 Lagerstättenbezirken und 5 Tunnel unterschiedlicher Teufenlage analysiert. Diese befinden sich in granitoiden bzw. grünschiefer- bis eklogitfaziell metamorph überprägten Gesteinen zwischen Aue-Schwarzenberg, Freiberg und der tschechischen Grenze. Die Datensätze wurden vom Archiv der Wismut GmbH und dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen recherchiert und bereitgestellt. Neben Lageinformation der Zuflusspunkte wurde jeweils die Orientierung der Bruchflächen, die Umgebungsgeologie, die Kluftmineralogie, physikochemische Parameter und Zuflussraten der Erstmessungen aufgenommen. Letztgenannte liegen im Bereich zwischen $1E-3$ l/min und $2E+3$ l/min vor und stellen somit eine außergewöhnliche Genauigkeit und Spannweite an Flussmessungen zu Untertagebauwerken dar.

Aus den Daten wurde mit einer vereinfachten analytischen Lösung nach (Jacob & Lohman 1952) die Transmissivitäten präferenzieller Grundwasserfließwege berechnet und für jeweils 100 m lange Abschnitte eine äquivalent-poröse hydraulische Durchlässigkeit bestimmt. Für Abschnitte ohne diskrete Zuflüsse oder mit geringen Zuflüssen wurde die hydraulische Durchlässigkeit aus der über den Abwetter abgeführten Luftfeuchtigkeit abgeschätzt. Für die jeweilige Teufenlage wurden die hydraulischen Gebirgsdurchlässigkeiten mittels verschiedener Ansätze gemittelt. Als Ergebnis kann für das Erzgebirge ein hydraulisches Teufenprofil zwischen der Oberfläche und 1400 m Teufe präsentiert werden. Aus diesem ist eine Abnahme der hydraulischen Durchlässigkeit von oberflächennah etwa $1E-7$ m/s auf etwa $1E-11$ m/s in 1400 m Teufe ersichtlich. Vergleichbare Analysen an tiefen Tunnelbauwerken im Aar- und Gotthardmassiv der Zentralschweiz weisen bei gleichem Gradienten der hydraulischen Gebirgs- durchlässigkeit eine etwa um 0.5 bis 1 Dekade höhere Gebirgsdurchlässigkeit auf (Masset & Loew 2010). Des Weiteren wurde festgestellt, dass bevorzugt NW-SE- (herzyn) und SW-NE-orientierte (saxonisch) Strukturen wasserführend sind. Wobei solche mit hohen Erstschüttungen eine stärkere Tendenz zu den herzynischen Strukturen vermuten lassen. Interessanterweise scheint auch ein Zusammenhang zwischen der hydraulischen Durchlässigkeit und dem Abstand zu den granitoiden Intrusionen zu bestehen. Tunnelabschnitte, welche sich im metamorphen Kontakthof befinden, weisen tendenziell höhere hydraulische Durchlässigkeiten auf.

Für Geothermie, Bergbau und Untertagebau im (kristallinen) Festgestein ist die Abschätzung von hydrogeologischen Parametern zur Auslegung der hydraulischen Systeme und Bestimmung der Wirksamkeit aber auch zur Abschätzung der Sicherheit essentiell. Diese Studie über Hydrogeologie des Erzgebirges stellt eine phänomenologische Betrachtung der Hydraulik in Teufen von 0 m bis 1400 m dar. Die zugrunde liegenden Prozesse sind bisher nur unvollständig analysiert und verstanden wurden. Dies wird ein Ziel der fortlaufenden Forschung sein und bleiben.

Jacob, C.E., Lohman, S.W.(1952): Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer. Trans Am Geophys Union 33: 559-569.

Masset, O., Loew, S., 2010. Hydraulic conductivity distribution in crystalline rocks, derived from inflows to tunnels and galleries in the Central Alps, Switzerland. Hydrogeol. J. 18: 863-891

P 2.2

Geologische, hydraulische und geophysikalische Erkundung des tektonisch begrenzten Kohlenkalk-Karstaquifers im Hastenrather Graben

DAVID BURS¹, JOHANNA BRUCKMANN², JULIAN TASCHOWSKY¹, RHEA VON BÜLOW², DOMINIQUE KNAPP², THOMAS R. RÜDE¹, NORBERT KLITZSCH²

¹ RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, Lochnerstraße 4-20, 52064 Aachen

² RWTH Aachen, Institut für Applied Geophysics and Geothermal Energy, E.ON Research Center, Mathieustraße 10, 52074 Aachen

Kontakt: burs@hydro.rwth-aachen.de

Der Hastenrather Graben liegt etwa 15 km südöstlich von Aachen und weist komplexe tektonische und geologische Verhältnisse auf. Aus variszischen Faltungsprozessen und späterer Bruchschollentektonik resultieren verfaltete, devonische und karbonische Festgesteine, die im Grabenzentrum von tertiären und quartären Lockergesteinen diskordant überlagert werden. Der Kohlenkalk ist ein Karstgrundwasserleiter, der zur Trinkwassergewinnung genutzt wird.

Die durchgeführten geologischen und geophysikalischen Detailuntersuchungen in Form von Kleinbohrungen, elektrischer Widerstandstomographie, refraktionsseismischer Tomographie und Bohrlochgeophysik zielen auf die Erkundung des Kohlenkalk-Karstaquifers ab. Die Untersuchung vermuteter Decken- und Faltenstrukturen im Grabenzentrum lieferte zusätzliche Eingangsdaten für die geometrische Modellierung des Aquifersystems.

Auf Basis der neuen Erkenntnisse der Kleinbohrungen ergibt sich ein alternatives geologisches Modell für den zentralen Grabenbereich. Durch eine integrierte Interpretation der elektrischen und seismischen Profile und der neuen geologischen Daten wurden drei 2-D Profile im Grabenzentrum erstellt, entlang derer die Locker-Festgesteins Grenze mit relativ hoher Sicherheit bestimmt werden konnte. Die Durchführung eines ersten Kurzpumpversuches ermöglichte die lokale Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes des Kohlenkalk-Aquifers. Weitere Kurzpumpversuche sollen der Ermittlung der räumlichen Varianz der Durchlässigkeitsbeiwerte dienen.

Die Erstellung eines hochauflösenden geometrischen 3D Modells und die Weiterentwicklung des hydrogeologischen Systemverständnisses für den heterogenen Kohlenkalk-Karstaquifer wird angestrebt. Dabei bieten implizite geometrische Modellierungsverfahren die Möglichkeit, komplexe Modelle, auch in Bereichen geringerer Datendichte, erstellen zu können (Calcagno 2008, Lajaunie 1997). Angesiedelt im Kompetenzzentrum HPSC-TerrSys (High-Performance Scientific Computing

in Terrestrial Systems) des ABC/J Geoverbundes am Forschungszentrum Jülich, stellen das geometrische- und das hydrogeologische Modell die Grundlage für eine hochleistungsrechnergestützte numerische Strömungsmodellierung mit dem Simulationspaket SHEMAT-Suite (Rath et al. 2006) dar. Dabei soll auch der Einfluss des Hochleistungsrechnens auf den gesamten Modellierungsprozess betrachtet werden.

Calcagno, P. & Chilès, J.-P. & Courrioux, G. & Guillen, A. (2008): Geological modelling from field data and geological knowledge, Part I - Modelling method coupling 3D potentialfield interpolation and geological rules. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 171 (1–4), 147–157.

Lajaunie, C. & Courrioux, G. & Manuel, L. (1997): Foliation fields and 3D cartography in geology: principles of a method based on potential interpolation. *Mathematical Geology*, 29 (4), 571–584.

Rath, V. & Wolf, A. & Bücker, H. M. (2006): Joint three-dimensional inversion of coupled groundwater flow and heat transfer based on automatic differentiation: sensitivity calculation, verification, and synthetic examples. *Geophys. J. Int.*, 167, 453–466.

P 2.3

Hypogene Höhlengeneese: Aufsteigendes Grundwasser und Erdwärme als Antrieb der Entstehung labyrinthischer Höhlen in der Nördlichen Frankenalb

STEFAN GLASER¹

¹ Karstgruppe Mühlbach e.V.

Kontakt: stefan.glaser@lfu.bayern.de

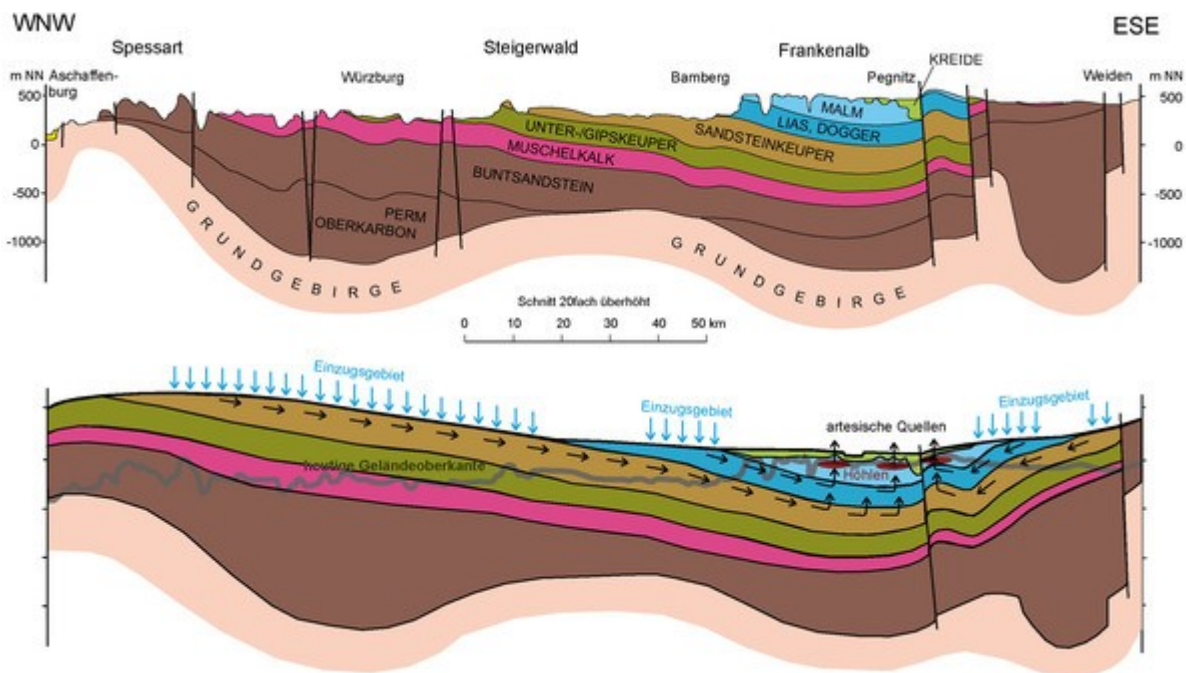
In Diskussionen zur Höhlengeneese wird bisher meist davon ausgegangen, dass Verkarstung der Tieferlegung des Grundwasserspiegels folgt. Angetrieben wird der Prozess demnach hauptsächlich von der Schwerkraft. Für manche sehr labyrinthische Höhlen in der Nördlichen Frankenalb ist eine derartige Entstehung nicht plausibel, da sie weder in Raumformen noch in Sedimenten oder ihrer Gesamtanlage Spuren von ehemals fließendem Wasser zeigen.

Eine mögliche Erklärung bietet die hypogene Höhlenentstehung nach Klimchouk (2007). Entscheidend ist hier die hydrogeologische Position mit gespanntem Grundwasser innerhalb großer kontinentaler Becken. Bei entsprechendem hydraulischem Gradienten kann im Zentrum des Beckens Wasser nach oben aufsteigen – quer durch die verschiedenen Gesteinsschichten. In zwischengelagerten Kalk-, Dolomit- oder Gipsgesteinen, erhöht sich dadurch allmählich die Durchlässigkeit. Die Lösung beruht auf Unterschieden in Temperatur, Dichte oder Gas- und Lösungsinhalt in den aufsteigenden und den oberflächennahen Grundwässern. Sobald Hohlräume entstanden sind, ist die Wasserbewegung hierin hauptsächlich von Konvektion geprägt, angetrieben nicht durch die Schwerkraft sondern durch den Wärmestrom aus dem Erdinneren.

Hypogene Höhlen zeigen keine Beziehung zur Landschaft und Grundwasserneubildung in ihrer Umgebung. Typische Ganganlagen sind 2D- oder 3D-Netzwerke, unregelmäßige Räume, isolierte Gänge und wirre Gangknoten. Der Grund hierfür sind die unter- oder überlagernden, weniger Grundwasser-leitenden Schichten, die zu einem eher geringen Durchstrom führen. Dadurch kann die Lösungskraft alle ursprünglich vorhandenen Schwächezonen im Gestein (Klüfte, Poren, Schichtfugen usw.), die in ähnlicher Position zum von unten kommenden Zustrom liegen, gleichmäßig erweitern. Auch weisen hypogene Höhlen andere typische Raumformen auf als epigentische Höhlen. Bei den Höhlensedimenten dominieren autochthone Lösungsrückstände, während allochthone und vom fließenden Wasser abgelagerte Sedimente fehlen.

Manche große Höhlen der Frankenalb (z.B. Bismarckgrotte, Maximiliansgrotte, Höhle ohne Namen, Schönsteinhöhle) weisen viele Merkmale einer hypogenen Entstehung auf (Glaser 2013). Die Voraussetzungen hierfür waren wohl ab der jüngeren Oberkreide bis ins Alttertiär ca. 50 Ma lang gegeben, als die Region im Zentrum und Tiefsten eines großen Sedimentbeckens lag. Das Grundwasser konnte aus den hochliegenden Randbereichen des Beckens in Keuper- und Doggersandsteinen dem Zentrum zuströmen und dort durch die Malmkarbonate und die damals überlagernden Kreide-Sedimente zur Oberfläche aufsteigen.

Eine mögliche Konsequenz ergibt sich auch für die aktuelle hydrogeologische Situation: Aufgrund der heutigen Hochlage der Frankenalb könnten die ehemaligen Aufstiegswege von Tiefenwässern – durch vermeintlich „stauende“ Horizonte hindurch – jetzt abwärts durchflossen werden. Dies kann insbesondere Grundwasser in Dogger- und Keupersandsteinen betreffen.



Schnitt durch Nordbayern: oben heutige Situation (verändert nach BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 2004); unten vermutete Situation zum Ende der Oberkreidezeit

Bayerisches Geologisches Landesamt [Hrsg.] (2004): GeoBavaria – 600 Millionen Jahre Bayern. – 92 S.; München. Klimchouk, A. (2007): Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. – National Cave and Karst Research Institute, Special Paper, 1: 106 S.; Carlsbad. Glaser, S. (2013): Hypogene Höhlengeneese: Aufsteigendes Grundwasser und Erdwärme als Antrieb der Entstehung labyrinthischer Höhlen in der Nördlichen Frankenalb und in anderen Teilen Bayerns. – Laichinger Höhlenfreund, 48. Jg.: 39-68; Laichingen.

Untersuchung zur Persistenz ausgewählter Spurenstoffe in einem Karstgrundwasserleiter mithilfe eines Multitracer-Versuchs

OLAV HILLEBRAND¹, KARSTEN NÖDLER¹, TOBIAS LICHA¹

¹ Abt. Angewandte Geologie, Universität Göttingen

Kontakt: olav.hillebrand@geo.uni-goettingen.de

Karstgrundwasserleiter gelten als wichtige aber auch vulnerable Trinkwasserressourcen. Aufgrund teilweise sehr hoher Fließgeschwindigkeiten wird i.d.R. von vernachlässigbarer Attenuation von eingetragenen Schadstoffen im Untergrund ausgegangen. Hillebrand et al. (2012a) konnten in einem Zweitracer-Versuch hingegen zeigen, dass in einem Karstgrundwasserleiter für Coffein, einem Abwasserindikator (Buerge et al. 2006, Hillebrand et al. 2012b), relativ zu Uranin ein Massenverlust von etwa 50% zu beobachten war. Dies entsprach unter den Versuchsbedingungen einer Halbwertszeit von etwa 100 h. Anders als Messwerte aus Laborversuchen, gibt dieser, im Grundwasserleiter durchgeführte Versuch, Hinweise auf die tatsächliche Stabilität von Spurenstoffen im untersuchten Karstgrundwasserleiter.

Ziel der hier vorgestellten Studie war i) die Verifikation der Ergebnisse von Hillebrand et al. (2012a), sowie ii) die Erweiterung und Anwendung der Methodik des Multitracer-Versuchs auf andere organische Spurenstoffe.

Der Multitracer-Versuch wurde im Einzugsgebiet der Gallusquelle (Schwäbische Alb, Deutschland) durchgeführt. Als Markierungsstoffe wurden Acesulfam, Atenolol, Carbamazepin, Coffein, Cyclamat, Ibuprofen, Paracetamol und Uranin eingesetzt. Die Uraninkonzentration wurde mithilfe eines Feldfluorimeters (GGUN-FL30) bestimmt, während die Analyse der organischen Spurenstoffe über Festphasenextraktion mit anschließender Flüssigchromatographie und Tandem Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS) erfolgte. Die Markierungsstoffe wurden in eine Doline, etwa 3000 m (lineare Distanz) oberhalb der Gallusquelle und somit von der Probenahmestelle entfernt eingegeben. Die Quellschüttung war während des Versuches unverändert bei 275 L s^{-1} . Die mittlere Verweilzeit der Markierungsstoffe betrug 57 h, bei einer Fließgeschwindigkeit von 48 m h^{-1} .

Uranin wurde genutzt um die anderen Markierungsstoffe auf Retardation zu untersuchen. Für keinen der Stoffe konnte eine signifikante Retardation beobachtet werden. Die persistenten Substanzen Acesulfam und Carbamazepin (Clara et al. 2004, Scheurer et al. 2011) wurden als Referenz genutzt, um ein eindimensionales Transportmodell zu erstellen und die Attenuation der restlichen Stoffe zu berechnen. Für die verschiedenen Markierungsstoffe wurden Halbwertszeiten von 40–100 h bzw. keine Attenuation ermittelt. Dies bestätigte die Ergebnisse von Hillebrand et al. (2012a). Das gleichzeitige Auftreten von Atenololsäure weist auf biologischen Abbau von Atenolol hin (Radjenović et al., 2008).

Die Ergebnisse des Markierungsversuches deuten darauf hin, dass Karstgrundwasserleiter trotz hoher Fließgeschwindigkeit und somit geringen Aufenthaltszeit als reaktive und biologisch aktive Systeme betrachtet werden sollten und ihr Attenuationspotential möglicherweise oftmals unterschätzt wird.

Buerge, I.J., Poigner, T., Müller, M., D., Buser, H.-R., 2006. Environmental Science and Technology 40 (13), 4096–4102.

Clara, M., Strenn, B., Kreuzinger, N., 2004. Water Research 38 (4), 947–954.

Hillebrand, O., Nödler, K., Licha, T., Sauter, M., Geyer, T., 2012a. Water Research 46 (16), 5381–5388.

Hillebrand, O., Nödler, K., Licha T., Sauter M., Geyer T., 2012b. Water Research 46 (2), 395-402.

Radjenović, R., Pérez, S., Petrović, M., Barceló, D., 2008. Journal of Chromatography A 1210 (2), 142–153.

Scheurer, M., Sorck, F.R., Graf, C., Brauch, H.-J., Ruck, W., Lev, O., Lange, F.T., 2011. Journal of Environmental Monitoring 13, 966–973.

P 2.5

Erste Markierungsversuche im aktiven Höhlensystem des Blautopfs – räumlich und zeitlich aufgelöste Informationen zur Struktur der Karstentwässerung und den hydraulischen Parametern

Kontakt: ute.lauber@kit.edu

Eine der größten und schönsten Karstquellen Deutschlands, der Blautopf, entwässert ein 165 km² großes Quelleinzugsgebiet auf der mittleren Schwäbischen Alb. Im Quelleinzugsgebiet wurden bereits über 65 Markierungsversuche durchgeführt, um Fragen der Abwasserversickerung und der Nutzung von Karstquellen zur Trinkwasserversorgung zu klären. Dabei erfolgten die Eingaben jeweils an der Geländeoberfläche und die Probenahme an Quellen; eine räumliche und zeitliche Auflösung der Entwässerungsstrukturen und hydraulischen Parameter war bislang nicht möglich.

Heute ist im Einzugsgebiet ein weitreichendes Höhlennetzwerk erforscht, das von unterirdischen Flüssen durchströmt wird: das Blauhöhlsystem (11,2 km lang), das sich hinter dem Blautopf verbirgt, und die wenige Kilometer entfernte Hessenhauhöhle (3,5 km). Um die bislang unbekannte Verbindung zwischen beiden Höhlen zu erkunden, wurde im Frühjahr 2012 erstmals ein Markierungsversuch mit zwei Tracereingaben direkt in die beiden Höhlenflüsse durchgeführt. Durch zwei weitere Eingaben auf der Albhochfläche sollten die Teileinzugsgebiete der Höhlenflüsse abgegrenzt werden. Mittels Feldfluorimetern konnte der Tracerdurchgang erstmals direkt in den Höhlen beobachtet werden. Dies ermöglichte die genaue Lokalisierung der hydraulischen Verbindungen zwischen den Höhlensystemen. In Verbindung mit den Eingaben an der Oberfläche wurde der hierarchische Aufbau der unterirdischen Entwässerung nachgewiesen und Teileinzugsgebiete für die beiden Höhlenflüsse bestimmt. Beide Höhlenflüsse tragen demnach jeweils etwa 50 % zur Schüttung des Blautopfs bei. Für verschiedene Höhlenabschnitte konnten die Abstandsgeschwindigkeiten erstmals räumlich und zeitlich aufgelöst werden: höchste Abstandsgeschwindigkeiten mit bis zu 275 m/h wurden in epiphreatischen (teilgesättigten) Bereichen beobachtet, während die Geschwindigkeiten kurz vor dem Quellaustritt in der phreatischen (gesättigten) Zone um eine Größenordnung geringer sind.

Auf Grundlage neuer geologischer Befunde konnte die hydrogeologische Modellvorstellung erweitert werden: die Entwässerung erfolgt teilweise durch eine bislang als bereichsweise weitgehend stauend geltende Mergelformation hindurch. Vergleiche mit früheren Markierungsversuchen ermöglichen Aussagen über die Ausbreitung und Verdünnung potenzieller Schadstoffe bei unterschiedlichen Abflussbedingungen.

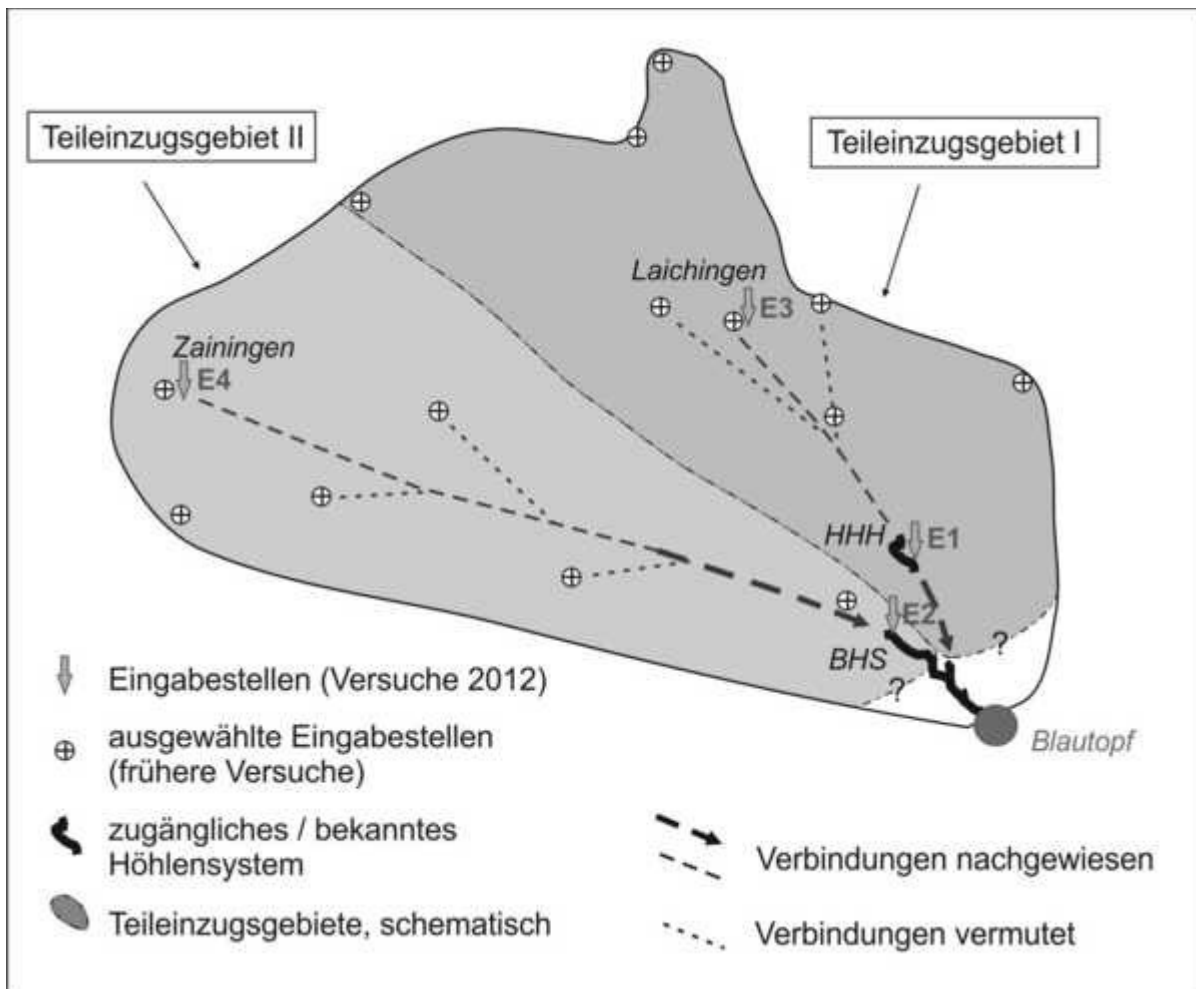


Abb. 1: Dendritischer Aufbau im Quelleinzugsgebiet des Blautopfs. Beide nachgewiesenen Teileinzugsgebiete tragen jeweils rund 50 % zur Gesamtschüttung bei; HHH: Hessenhauhöhle, BHS: Blauhöhle (nach Lauber et al. 2013).

LAUBER, U., UFRICHT, W., GOLDSCHIEDER, N. (2013): Neue Erkenntnisse zur Struktur der Karstentwässerung im aktiven Höhlensystem des Blautopfs. – Grundwasser. DOI: 10.1007/s00767-013-0239-z

P 2.7

Isotopenuntersuchungen an Quellen und Brunnen in den Baumbergen (Münsterland)

MARIUS RÖMER¹, PATRICIA GÖBEL¹, HARALD STRAUSS¹

¹ Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geologie und Paläontologie

Kontakt: marius.roemer@uni-muenster.de

Im zentralen Münsterland (NRW) bilden spätkreidezeitliche Ablagerungen den Höhenrücken der Baumberge mit einer Maximalhöhe von +186 m NN und einer Fläche von circa 40 km². Die tonmergelige Coesfeld-Formation im Liegenden und die sandmergelige Baumberge-Formation im Hangenden formen im Untergrund eine flache Synkinalstruktur, welche durch Reliefumkehr als Erhebung ausgeprägt ist. Die geringe Wasserdurchlässigkeit der Coesfeld-Formation führt zu der Ausbildung eines isolierten Grundwasserkörpers im Bereich der Baumberge-Formation, was

wiederum die Bildung zahlreicher Überlaufquellen hervorruft.

Vorherige Untersuchungen belegen einen Ca-HCO₃-Grundwassertyp mit einer relativ invariablen Wasserchemie im gesamten Gebiet der Baumberge. Durch landwirtschaftlichen Eintrag von Düngern treten jedoch saisonale Variationen der Nitratkonzentrationen auf (Göbel 2010).

Das Untersuchungsprogramm umfasste die zweimonatliche Beprobung von 10 Quellen und 4 Hausbrunnen von September 2012 bis August 2013. Die Proben wurden auf Anionen- und Kationengehalte sowie auf DIC-, Nitrat- und Sulfatisotopie untersucht ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Nitrat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Nitrat}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{Sulfat}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Sulfat}}$). Anionen- und Kationenuntersuchungen bestätigen weiterhin die einheitliche Wasserchemie im Untersuchungsgebiet. Die Nutzung stabiler Isotope zur Identifizierung von potentiellen Eintragsquellen hat sich in der Vergangenheit bewährt (z. B. Schwientek et al. 2008). Außerdem bieten sie die Möglichkeit, trotz einer einheitlichen (traditionellen) Wasserchemie unterirdische Einzugsgebiete der Quellen abzugrenzen.

$\delta^{34}\text{S}_{\text{Sulfat}}$ -Werte liegen überwiegend im negativen Bereich, obwohl Dünger und Niederschläge $\delta^{34}\text{S}_{\text{Sulfat}}$ -Werte im positiven Bereich aufweisen. Negative $\delta^{34}\text{S}_{\text{Sulfat}}$ -Werte deuten auf Pyritoxidation als Quelle für Sulfat im Grundwasser hin. Dies ist überraschend, da Bohrkernansprachen wenig Hinweise auf Schwefelminerale in den Baumberge-Schichten liefern (Dölling 2007). Ein Großteil der Proben zeigt eine abnehmende Sulfatisotopie in nordwestlicher Richtung. Dieser Trend wird von einigen Brunnen mit negativeren $\delta^{34}\text{S}_{\text{Sulfat}}$ -Werten bzw. erhöhten $\delta^{18}\text{O}_{\text{Sulfat}}$ -Werten unterbrochen, was möglicherweise auf tiefere Grundwässer bzw. einen lokal stärkeren Einfluss von Niederschlägen hinweist. Im kleinräumlichen Maßstab eines Quellbereichs liegen signifikante Variationen der Sulfatisotopie vor, die sich durch einen Anschluss der Quellen an unterschiedliche Kluftsysteme erklären lassen.

$\delta^{15}\text{N}_{\text{Nitrat}}$ - und $\delta^{18}\text{O}_{\text{Nitrat}}$ -Werte liegen größtenteils im positiven Bereich, was auf eine Mischung von synthetischen und organischen Düngern als Nitratquelle hindeutet. Außerdem zeigen negative $\delta^{34}\text{S}_{\text{Sulfat}}$ - und gleichzeitig erhöhte $\delta^{15}\text{N}_{\text{Nitrat}}$ -Werte, dass in Bereichen der Baumberge eine Kopplung von Pyritoxidation mit Denitrifizierung erfolgt.

Zukünftige Arbeiten liegen in einer Bestimmung von unterirdischen Quelleinzugsgebieten und einer etwaigen Korrelation von Landnutzung in diesen Gebieten mit den oben untersuchten Parametern.

Dölling, B. (2007): Erläuterungen zu Blatt Nottuln 4010. Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld.

Göbel, P. [Ed.] (2010): Quellen im Münsterland - Beiträge zur Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Ökologie und Didaktik. Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkd. 72, 204.

Schwientek, M., Einsiedl, F., Stichler, W., Stögbauer, A., Strauss, H., Maloszewski, P. (2008): Evidence for denitrification regulated by pyrite oxidation in a heterogeneous porous groundwater system. Chem. Geol. 255, 60–67.

Entwicklung eines Gelände-Fotometers zur schnellen unüberwachten Vor-Ort-Analyse bei Tracer Tests in Karstgebieten

LARS SCHIMPF¹, WOLFGANG GOSSEL

¹ Fachgebiet Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle

Kontakt: wolfgang.gossel@geo.uni-halle.de

Tracer-Versuche stellen eine sehr wichtige und bedeutende Untersuchungsmethode in der Hydrogeologie dar. Häufigste Einsatzgebiete sind hier die Erfassung von Einzugsgebieten von Quellen oder der Geometrie von Karstgebieten. Eine der am häufigsten verwendeten Substanzen im "dye tracing" ist der fluoreszierende Farbstoff Uranin. Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass für den Nachweis geringer Konzentrationen ein Fotometer oder ein Fluorimeter zum Einsatz kommen müssen. Dies gestaltet den Einsatz von Uranin als Tracer insbesondere in Gebieten mit großen Distanzen zwischen den Messpunkten und bei schwer kalkulierbaren Retentionszeiten schwierig. Aus diesem Grund entwickelte die Fachgruppe Hydro- und Umweltgeologie ein mobiles Gerät, das auf dem Fotometerprinzip beruht.

Die Anforderungen an das Gerät umfassten im Wesentlichen Mobilität, Robustheit, Datenlogger-Funktionalität, unabhängige Stromversorgung, sowie eine unkomplizierte Technik und Handhabung. Des Weiteren sollte die Entwicklung in den Bereichen Hard- und Software auf bestehenden und gut dokumentierten Prinzipien aufgebaut werden. Die zentrale Einheit der Datenverarbeitung und Steuerung ist ein auf dem ATmega328 basierendes Arduino Uno SMD Mikrocontroller Board (Arduino, 2013). Dessen Funktionalitäten wurden durch die Installation einer SD-Karten-Schnittstelle sowie einer RTC (Real Time Clock) erweitert, um das Gerät als Datenlogger für die Messungen einsetzen zu können. Die Geräte sind teilweise mit zwei Messeinrichtungen ausgestattet:

Das Erfassen der Intensität der UV-Strahlung und somit deren Extinktion durch den Tracer, erfolgt durch eine Fotodiode, deren Signal durch einen Transimpedance Amplifier verstärkt wird. Als Strahlenquelle dient hier ein UV-LED an der offenen und somit frei durchströmbaren Messzelle. Diese Messzelle wird direkt in das Gewässer eingebracht. Die UV-Strahlung gelangt dann durch einen Lichtwellenleiter zu der Photodiode, der ein entsprechender Farbfilter vorgeschaltet werden kann. Da es sich um eine offene und somit aussenlichtempfindliche Messanordnung handelt, wurde eine weitere Photodiode für die Bestimmung der Intensität des Umgebungslichtes als zweite Messeinrichtung verbaut, falls eine Abschirmung gegen das Umgebungslicht nicht gewährleistet werden kann. Die geringe Größe (inklusive 9V Batterie zur Stromversorgung), sowie der geringe Stromverbrauch erlauben einen äußerst mobilen Einsatz über Zeiträume von mehreren Wochen.

ARDUINO (2013): Arduino Uno.- <http://arduino.cc/de/Main/ArduinoBoardUno>. Besucht 29.10.2013.

Charakterisierung röhrengedrosselter Karstgrundwasserleiter

SEBASTIAN SCHMIDT¹, TOBIAS GEYER¹, JOSEPH GUTTMAN², AMER MAREI³, FABIAN RIES⁴, MARTIN SAUTER¹

¹ Geowissenschaftliches Zentrum – Abteilung Angewandte Geologie, Georg-August-Universität Göttingen

² Mekorot, Israel National Water Company, 9 Lincoln St., Tel Aviv 61201, Israel

³ Al-Quds University, Department of Earth and Environmental Studies, P.O.B. 20002, Jerusalem, West Bank

⁴ Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, Fahrenbergplatz, 79098 Freiburg

Kontakt: Sebastian.Schmidt@geo.uni-goettingen.de

Verkarstete Karbonatgrundwasserleiter stellen weltweit bedeutende Trinkwasserressourcen dar. Ein limitierender Faktor für ihre Nutzung als Ressource ist jedoch die oft sehr variable Quellschüttung in Abhängigkeit von Niederschlag und Grundwasserneubildung. Diese Variabilität ist ein Resultat der hohen hydraulischen Leitfähigkeit und der geringen effektiven Speicherfähigkeit des Karströhrensystems. An einigen Quellen lässt sich, trotz schneller karsttypischer Reaktion auf Niederschlagsereignisse, ein ausgeprägtes Schüttungsmaximum (Schüttungs-Plateau) beobachten. Dieses Plateau wird wahrscheinlich durch die limitierte Durchflusskapazität des Karströhrensystems verursacht. Diese speziellen Grundwasserleiter erfordern eine eigene Herangehensweise hinsichtlich ihrer Charakterisierung. Gängige Reservoirmodelle können nicht zur Prognose eingesetzt werden.

Eine Charakterisierungs- und Modellierungsstrategie für diesen Grundwasserleiter-Typ wurde am Beispiel der Quelle Auja im Westjordanland entwickelt. Diese zeigt ein jährliches Schüttungs-Plateau und ist mit einem mittleren Abfluss von 300 l/s die schüttungsstärkste Süßwasserquelle des Unteren Jordantales. Das semi-aride Klima im Neubildungsgebiet mit kurzen Starkregenereignissen und langen Trockenperioden führt zu scharf begrenzten und sich wenig überlagernden Eingangssignalen für eine System- und Leerlaufanalyse. Die Quelle wurde mittels eines permanenten V-Wehres und kontinuierlich aufzeichnender Messtechnik ausgerüstet. Im Einzugsgebiet wurde eine Reihe meteorologischer Stationen installiert. Bisher konnten vier hydrologische Jahre in hoher zeitlicher Auflösung erfasst werden. Weiterhin konnte auf mehr als drei Dekaden umfassende Schüttungs- und meteorologische Zeitreihen zurückgegriffen werden.

Die Quelle zeigt eine ausgeprägte Schwelle im Abflussverhalten mit Ausbildung eines Plateaus bei einer Schüttung von ca. 470 l/s. Die Reaktion auf Neubildungsereignisse unterhalb dieses Wertes kann als Neubildungs-dominiert, darüber als Grundwasserleiter-dominiert bezeichnet werden. Mittels der aus der hydrogeologischen Analyse ermittelten Daten konnte ein konzeptionelles Modell des Grundwasserleiters erstellt werden. Dieses wurde in ein mathematisches Modell (gekoppeltes Bodenwasserhaushalts- und Reservoirmodell) überführt, welches mit wenigen Kalibrierparametern eine sehr gute Nachbildung der komplexen Schüttungsganglinie erreicht. Es konnte eine tagesgenaue Zeitreihe der Grundwasserneubildung (eigentlich: Perkolationsrate) errechnet werden. Die Jahressumme der Neubildung variiert aufgrund der hochvariablen Niederschlagsmenge und der unterschiedlichen Evapotranspirationsraten stark und beträgt zwischen 4 mm/a und 800 mm/a für den betrachteten Zeitraum von 45 Jahren (im Mittel ca. 170 mm/a). Selbst durchschnittliche Niederschlagsjahre führen in der Regel zu einer Speicherentleerung und abnehmenden Quellschüttung, während die hauptsächlichliche

Speicherauffüllung durch wenige Feuchttore erfolgt.

P 2.10

Grundwasserfauna in den Baumbergen, zentrales Münsterland, NRW

NILS WECKWERT¹, HANS-JÜRGEN HAHN², PATRICIA GÖBEL¹

¹ Angewandte Geologie, Universität Münster

² Universität Koblenz-Landau, Institut für Umweltwissenschaften, Forststraße 7, 76829 Landau, hjhahn@uni-landau.de

Kontakt: pgoebel@uni-muenster.de

Die Baumberge sind ein Höhenrücken im Westen von Münster (Westf., NRW). Mit einer maximalen Höhe von +186 m NN stellen sie die höchste Erhebung im sonst flachen Münsterland dar und fungieren somit als Niederschlagsbarriere mit Niederschlagsmengen von 800-1000 mm/a. Die spät-kreidezeitlichen Gesteinsschichten (Obercampan) im Untergrund bilden eine schüsselartige Synklinalstruktur durch Reliefumkehr, in der sich Grundwasser sammelt und an zahlreichen Überlaufquellen entlang der +120 m NN Höhenlinie überläuft. Auf diesem Niveau verläuft die Grenze zwischen den wasserdurchlässigen, sandigen Mergelsteinen der Baumberge-Schichten (im Hangenden) und den wasserstauenden, tonigen Schluffmergelsteinen der Coesfeld-Schichten (im Liegenden). Grundwasser zirkuliert hauptsächlich durch poröses und geklüftetes Gestein mit untergeordneten verkarsteten Bereichen. Ein verstärktes Schütten der Quellen ist eine starke Reaktion auf heftige Niederschläge. Der Chemismus des Grundwassers ist in allen Quelleinzugsgebieten ähnlich und lässt sich als Ca-HCO₃-Typ charakterisieren. Die Baumberge sind eine spärlich besiedelte Region, die durch eine ausgeprägte Land- und Forstwirtschaft gekennzeichnet ist (Göbel, 2010).

Die Grundwasser-Flurabstände betragen in den Kammlagen mehr als 50 m und nehmen in Richtung der Quellen gegen Null ab. Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte betragen $k_f = 10^{-5}$ m/s. Es findet kein Austausch mit dem Oberflächenwasser statt. Es besteht vermutlich kein Anschluss zu anderen Grundwasserlebensräumen (Göbel, 2010).

Frühere Untersuchungen zur Ökologie in den Baumbergen zeigen, dass die Quellen durch größtenteils Invertebraten, Bakterien und Pilze besiedelt sind (Preuß & Lugert, 2010). Jedoch blieben Untersuchungen zur Grundwasserfauna aus. Um erste Erkenntnisse über die Grundwasserfauna in den Baumbergen zu erhalten, wurde eine neue Methodik zur Probenahme an Quellen entwickelt. Hinsichtlich der Erforschung vorhandener Grundwasserfauna wurden 15 perennierende Quellen in drei Monaten beprobt. In den Quellen dominieren Sturz- und Grundquellen, sodass zwei unterschiedliche Probenahmetechniken entwickelt werden mussten. In den Sturzquellen wurden eigens dafür entwickelte Fallen (bestehend aus einem Tank mit Planktonnetztrichter) eingehängt, wohingegen die Grundquellen durch eine selbstgebaute Vakuumpumpe beprobt wurden. Um einen direkten Vergleich der Grundwasserfauna in den Quellen mit der Fauna im Grundwasserkörper zu erhalten, wurden einmalig vier Brunnen mittels Netzsammler beprobt.

Das Grundwasser der Baumberge ist arm an TOC (0,9 bis 1,75 mg/l), zeigt einen Sauerstoffgehalt zwischen 5-6 mg/l und eine relative Standardabweichung von 16% bei der Temperatur. Gefundene Grundwasserfauna wurde auf Großgruppenniveau bestimmt; dabei dominieren Crustacea und

Nematoda. Untergeordnet kommen auch Gastropoda vor. Die einzelnen Individuen zeigen durchschnittliche Größen von ca. 2-3 mm, wohingegen die Crustacea eine Größe von bis zu 6 mm erreichen können.

Göbel, P. [Hrsg.] (2010): Quellen im Münsterland – Beiträge zur Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Ökologie und Didaktik. – Abh. Westf. Mus. Naturk., 72; Münster.

Preuß, G. & V. Lugert (2010): Mikrobiologie im Grund- und Quellwasser der Baumberge (Kreis Coesfeld, NRW) – Charakterisierung der Bakterienbesiedlung und der Grundwasser-fauna. – in Abh. Westf. Mus. Naturk. 72; Münster.

P 2.11

Regionale Hydrogeologie von Deutschland – Ein Buchprojekt

MARKUS ZAEPKE¹, ANTJE BEER², JOHANN-GERHARD FRITSCHÉ³, MATHIAS HÜBSCHMANN⁴, THOMAS KÄRCHER⁵, BRODER NOMMENSEN⁶, EVELIN REUTTER⁷, HANNSJÖRG SCHUSTER⁸, BERNHARD WAGNER⁹

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

² Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt

³ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

⁴ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

⁵ Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

⁶ Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein

⁷ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen

⁸ Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen

⁹ Bayerisches Landesamt für Umwelt

Kontakt: bernhard.wagner@lfu.bayern.de

Mit dem gemeinsamen Buchprojekt der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der Bundesländer und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wird erstmals eine flächendeckende Beschreibung zur Hydrogeologie von Deutschland vorgelegt. Rund 50 Mitarbeiter der Dienste haben als Autoren an der Veröffentlichung mitgewirkt.

Die Beschreibung folgt der Systematik einer hydrogeologischen Raumgliederung Deutschlands in drei hierarchische Ebenen unterschiedlichen Detailgrades, die durch die SGD gemeinsam mit der BGR entwickelt wurde:

- *Hydrogeologische Großräume* sind große Bereiche der Erdkruste mit ähnlichen hydrogeologischen Eigenschaften und ähnlichen Grundwasserverhältnissen, die auf derselben geologischen Entstehungsgeschichte und einem einheitlichen tektonischen Baumuster beruhen.
- *Hydrogeologische Räume* sind Bereiche der Erdkruste, deren hydrogeologische Eigenschaften aufgrund ähnlichen Schichtenaufbaues, ähnlicher geologischer Struktur, ähnlicher Morphologie und ähnlicher Grundwasserbeschaffenheit im Rahmen einer festgelegten Bandbreite einheitlich sind. Die Grenzziehung berücksichtigt, wo hydrogeologisch sinnvoll, die naturräumliche Gliederung der Physischen Geographie.
- *Hydrogeologische Teilräume* sind einzelne oder mehrere hydrogeologische Einheiten, die einen regional einheitlichen Bau aufweisen. Die Grenzziehung berücksichtigt, wo hydrogeologisch sinnvoll, die naturräumliche Gliederung der Physischen Geographie.

Entsprechend dieser Systematik wurde das Bundesgebiet in 10 hydrogeologische Großräume, 36 hydrogeologische Räume und 247 hydrogeologische Teilräume untergliedert. Im Fokus der Publikation steht dabei die Beschreibung der hydrogeologischen Teilräume nach folgendem, einheitlichen Gliederungsschema:

- *Definition:* räumliche Verbreitung mit wesentlichen geologischen und hydrogeologischen Merkmalen.
- *Kennzeichen:* Beschreibung von Gesteinsart, Hohlraumart, Verfestigung, hydraulischer Durchlässigkeit und geochemischem Gesteinstyp der wichtigsten Grundwasserleiter.
- *Charakter:* Stockwerksbau mit Lithologie, Abfolge der hydrogeologischen Einheiten und Mächtigkeiten; Grundwasserdynamik mit Flurabständen, Vorflutverhältnissen, Potentialverhältnissen des Grundwassers und Ergiebigkeiten; Charakterisierung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung sowie wasserwirtschaftliche Nutzung/Bedeutung.

Eine den Teilraum-Beschreibungen vorangestellte Kurzcharakteristik der hydrogeologischen Großräume und Räume dient der Einordnung in das regionale (hydro-)geologische Umfeld.

Das Buch wendet sich an Anwender aus Fachbehörden, Planungs- und Ingenieurbüros sowie Hochschulen, aber auch an die fachlich interessierte Öffentlichkeit. Es wird in der neuen Reihe A (Allgemeine und regionale Geologie der Bundesrepublik Deutschland und Nachbargebiete) des Geologischen Jahrbuchs voraussichtlich Anfang 2015 erscheinen.

P 2.12

Conceptual groundwater flow model of the Mekelle Paleozoic-Mesozoic Sedimentary Outlier and surroundings (Northern Ethiopia): using environmental isotopes and Electrical Conductivity patterns in groundwater

ERMIAS HAGOS GIRMAY¹, TENALEM AYENEW², SEIFU KEBEDE², MULUGETA ALENE², STEFAN WOHLNICH³, FRANK WISOTZKY³

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum and School of Earth Sciences, Addis Ababa University

² School of Earth Sciences, Addis Ababa University

³ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: Ermias.Girmay@ruhr-uni-bochum.de

A wide range of lithologic units and tectonic disturbances by cross-cutting faults and folds has resulted in a quite complex hydrogeological setting of the Mekelle Sedimentary Outlier and surroundings in Northern Ethiopia. Environmental isotopes of oxygen and hydrogen and patterns of total ionic concentrations in groundwater have been used to conceptualize the groundwater flow dynamics and recharge- discharge mechanisms in the area. Shallow, intermediate and deep groundwater flow systems have been identified. The range of tritium activities (1.73 - 3.66TU) in the shallow and deep groundwater samples have indicated that modern time recharge is dominant in the aquifers of the study area.

3 From atmosphere to groundwater – hydrology of the vadose zone

Oral Presentations

O 3.1: H19, NW II, 29.05.2014, 10:00-10:20

Die Hydrologie der vadosen Zone: Stand der Dinge

WOLFGANG DURNER¹

¹ Institut für Geoökologie, TU Braunschweig

Kontakt: w.durner@tu-bs.de

Die vadosen Zone als Gebiet zwischen der Grenzfläche Boden-Atmosphäre und dem Grundwasserspiegel ist nach wie vor in vielerlei Hinsicht eine Terra incognita. In diesem Überblicksvortrag wird aus bodenphysikalischem Blickwinkel der gegenwärtige Stand bei der hydrologischen Zustandserfassung, Charakterisierung und Modellierung dieses Kompartiments dargestellt, die Schlüsselprobleme gelistet, und ein Ausblick auf künftige Entwicklungen gegeben.



In situ Analysis of Pore Scale Processes at Biogeochemical Interfaces

CHRISTIAN METZ¹, NATALIA P. IVLEVA¹, REINHARD NIESSNER¹, THOMAS BAUMANN¹

¹ Institute of Hydrochemistry, Technische Universität München

Kontakt: tbaumann@tum.de

Biogeochemical interfaces (BGI) in soil control the fate of organic chemicals and the functioning of soil as a filter to protect groundwater resources. Biogeochemical interfaces are transient in space and time, thus rendering batch tests under equilibrium conditions and without spatial restrictions inadequate to predict the overall behavior. Instead, the concentration gradients of organic chemicals have to be measured and the spatial and temporal dynamics of the BGI themselves have to be monitored. Processes at BGI can be visualized and quantified using microfluidic structures mimicking the pore topology of the soil, so called micromodels. In combination with Raman microspectroscopy chemical information can be retrieved from a micromodel experiment with a spatial resolution on the order of $1 \mu\text{m}^2$ and a temporal resolution in the s-range. To increase the sensitivity, silver nanoparticles have been added to the water phase flowing through the micromodel to make use of the amplifying surface-enhanced Raman effect. Currently chemical gradients of moderately lipophilic substances have been acquired with a limit of detection of $10\text{e-}8 \text{ mol/L}$. Challenges to overcome include the interactions between silver nanoparticles and target analytes which might alter the mass transfer rates, and the settling of nanoparticles in the channel. As high resolution acquisition comes with a limited field-of-view (FoV) and, e.g., the growth of a biofilm outside of the FoV alters the flow pattern, the flow velocity has to be monitored using fluorescent latex beads and single particle tracking. For a fast measurement of well-defined variables, like the pH-value or the oxygen concentration, thin film polymers with encapsulated sensor dyes are chosen. When looking at microbial growth in porous media, not only the development of a biofilm changes the flow paths and the accessibility to the microbes, but also the development of locally confined gas bubbles, as with *P. denitrificans*. Here, the growth rate is correlated with bacterial activity and the results indicate different bacterial densities in pore bodies and pore throats. Imaging results at the interface and the development of the concentration gradient suggest, that the interface is highly dynamic in the beginning. Vortices with velocities in the upper $\mu\text{m/s}$ range are reaching several dozens of μm from the interface into the solution. A diffusion controlled mass transfer is established at a later stage only. This observation might explain part of the first flush phenomenon.

Water flow and solute transport under dynamic water table conditions in different porous media

FRANZISKA RÜHLE¹, CHRISTINE STUMPP¹

¹ Helmholtz Zentrum München, Institut für Grundwasserökologie

Kontakt: christine.stumpp@helmholtz-muenchen.de

Water fluxes near the groundwater table are highly variable over time and depth leading to changes in the water table level and the formation of a variably saturated transition zone between the unsaturated and saturated zone. In order to understand transport and fate of solutes and contaminants into groundwater, improved understanding about hydrological processes at this dynamic interface between the unsaturated and saturated zone is needed. The objective of this study was to investigate the impact of different water table dynamics (increase, decrease, periodic cycling) on vertical flow and solute transport in different porous media (different average grain size and grain size distribution). Therefore, flow-through columns (L=50cm, Ø=9 or 14cm) were filled with uniform glass beads of different grain sizes or natural sediment and constantly irrigated from the top. Several multi-tracer experiments were conducted with a statically fixed water table and compared to experiments where the water table level was dynamic. Identifying the transport processes, mathematical modeling was performed with the Richards equation and the advection-dispersion equation in HYDRUS-1D. The results showed that under certain hydrological conditions water table dynamics led to increased solute spreading depending on the type of water table movement and the characteristics of the porous medium. In fine uniform porous media a falling water table caused increased spreading since the water table decline rate was faster than the water flux resulting in a more extensive solute distribution over depth. In coarse uniform media, it was observed that a rising water table caused higher tracer spreading due to diffusive solute exchange with immobile water zones. In homogeneous natural sediment with greater grain size distribution but smaller average grain size and negligible immobile water compared to the glass beads, periodic cycling of the water table did not alter solute spreading. It was assumed that variations in water saturation and flow velocities were less pronounced due to high capillary forces. However, it cannot be excluded that differences in transport parameters at decreasing and increasing water table were attenuated, which is not detectable when observing tracer concentrations in the outflow only. In conclusion, the findings highlight the importance of taking into account variable hydrological fluxes near dynamic water tables to understand and correctly simulate transport processes in the subsurface.

Untersuchung der Reinigungsleistung der ungesättigten Bodenzone bei dezentraler Abwasserversickerung anhand physikalischer und numerischer Modelle

ISSA HASAN¹, THOMAS FICHTNER¹, PETER-WOLFGANG GRÄBER¹

¹ Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten, TU-Dresden

Kontakt: issa.hasan@tu-dresden.de

Entsprechend der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) müssen bis 2015 alle EU-Mitgliedsstaaten einen guten ökologischen und chemischen Zustand aller Gewässer erreichen. Ein erheblicher Teil der Belastung von Grund- und Oberflächengewässern wird momentan durch kommunale Abwässer verursacht. Da in Deutschland nur etwa 96% (BMU, 2013) der Haushalte an eine zentrale öffentliche Abwasserentsorgung angeschlossen sind, bieten sich dezentrale Kleinkläranlagen als alternatives und effektives Verfahren für die dezentrale Abwasserentsorgung an. Ein Großteil der Grundstücke besitzen keinen Anschluss an einen Vorfluter. In diesem Fall besteht einzig die Möglichkeit der Versickerung des geklärten Abwassers in die ungesättigte Bodenzone. Dadurch wird außerdem der nachhaltigen Störung der lokalen Grundwasserbilanz durch die Ableitung des gereinigten Abwassers entgegengewirkt. Durch die dezentralen Anlagen kann die natürliche Grundwasserbilanz erhalten bleiben und eine kontrollierte Grundwasserneubildung gesichert werden.

Um die Auswirkungen der Infiltration von gereinigtem Abwasser aus dezentralen Kleinkläranlagen auf das Grundwasser zu untersuchen, erfolgte deshalb in Laborsäulenversuchen die Ermittlung der Versickerungs- und Reinigungsleistung der ungesättigten Bodenzone. Es wurden Experimente mit drei verschiedenen Bodenarten (Grobsand B4, mittel schluffiger Sand B5, schwach schluffiger Sand B3) durchgeführt. Parallel dazu erfolgte die Simulation der geohydraulischen und chemischen Prozesse im ungesättigten Bodenbereich mit Hilfe des Programmes PCSiWaPro[®] (entwickelt an der TU-Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten). Nach den Angaben von Geometrie, Bodenparametern und geohydraulischen Randbedingungen sowie der zeitabhängigen Randbedingungen wurden 2D-Modelle der Laborsäulen aufgebaut. Für den Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten wurden in jedem Modell zwei Beobachtungspunkte integriert. Diese befanden sich äquivalent an den Positionen, an denen in den Laborsäulen Tensiometer installiert waren.

Die Simulationsergebnisse der Säulenversuche zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und mittels PCSiWaPro[®] berechneten Werten des Wasser- und Stoffhaushaltes (Druckhöhe, Abfluss und Stoffkonzentration).

Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Ergebnisse zum Chemismus konnten belegen, dass schwach bis mittel schluffige Böden, unter gewissen Randbedingungen, für die Nachklärung des mittels Kleinkläranlagen vollbiologisch gereinigten Abwassers geeignet sind. Der Abbau der noch im Ablauf der Kleinkläranlagen vorhandenen Abwasserinhaltsstoffe erfolgte in diesen Böden nahezu vollständig. Grund für die ausbleibende Reduzierung der Abwasserinhaltsstoffe in einer weiteren Säule war ein stark absinkender pH-Wert aufgrund geringer Pufferkapazität des Bodens sowie die hohe hydraulische Leitfähigkeit.

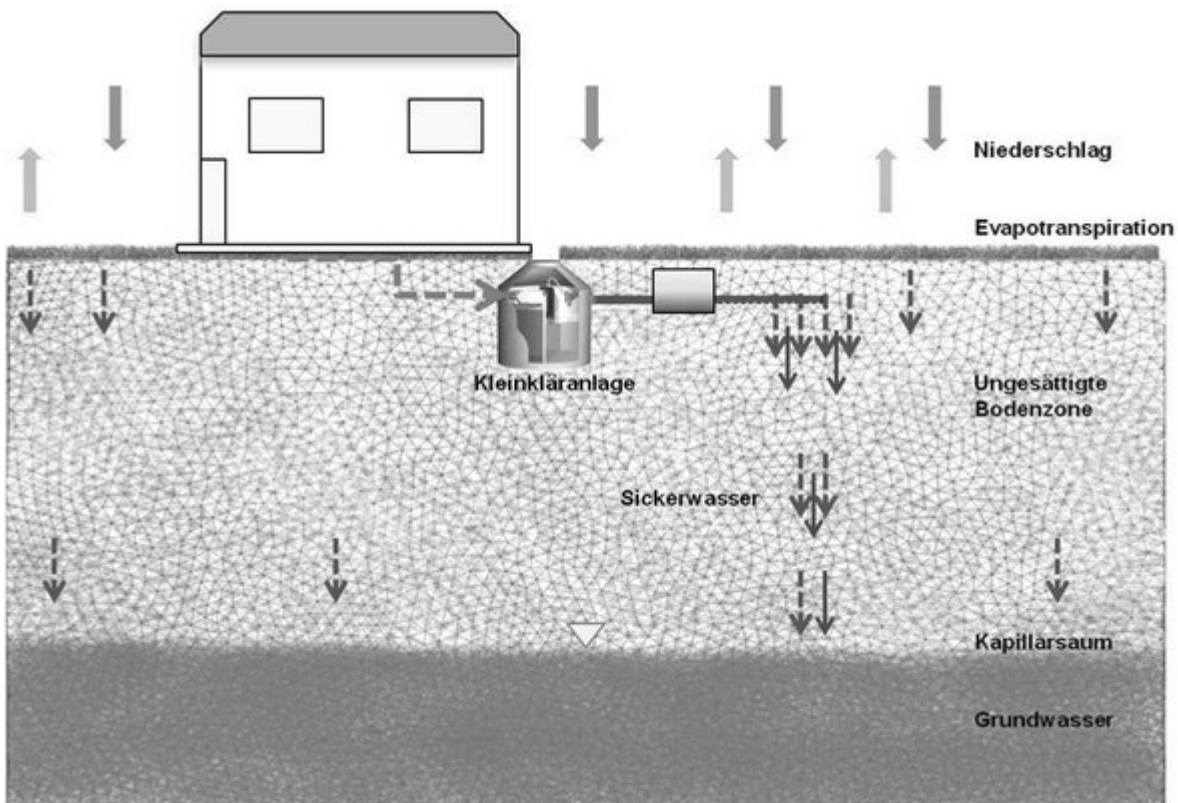


Abbildung 1. Schematische Darstellung des untersuchten Modells am Beispiel von Versickerung des durch Kleinkläranlagen gereinigten Abwassers

- EU-Wasserrahmenrichtlinien (2000/60/EG/ L 327/3)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2013). <http://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/abwasser/>
- Gräber, P-W., et al. SiWaPro DSS - Beratungssystem zur Simulation von Prozessen der unterirdischen Zonen [Buchabschnitt] // Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften / Buchverf. Wittmann Jochen und Müller Mike / Hrsg. Müller Mike. - Leipzig : Shaker Verlag, 2006. - ISBN 3-8322-5132-4.

O 3.5: H19, NW II, 29.05.2014, 11:40-12:00

Simulation des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung in Niedersachsen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA

FRANK HERRMANN¹, RALF KUNKEL¹, FRANK WENDLAND¹, HARRY VEREECKEN¹, LENA HEIDT², JÖRG ELBRACHT², NICOLE ENGEL², MÜLLER UDO², HERBERT RÖHM²

¹ Institut für Bio- und Geowissenschaften IBG-3: Agrosphäre, Forschungszentrum Jülich GmbH

² Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Hannover

Kontakt: f.herrmann@fz-juelich.de

Für die Bestimmung des nachhaltig nutzbaren Grundwasserdargebotes auf Landesebene ist die flächendeckende Kenntnis der Grundwasserneubildung wesentliche Informationsbasis. Um die Grundwasserneubildung zeitlich und räumlich hochaufgelöst mit Hilfe einer Wasserhaushaltssimulation zu bestimmen, müssen auch wesentliche andere Prozesse des Landschaftswasserhaushalts insbesondere in der vadosen Zone adäquat durch das Modell abgebildet werden. Die tatsächlich in einem Landschaftsraum stattfindende Verdunstung ist

beispielsweise in hohem Maße abhängig von der Bodenfeuchteverteilung und diese auf grundwassernahen Standorten zusätzlich vom kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser. Für eine konsistente Simulation der relevanten Prozesse auf Landesebene mit der Vielzahl an heterogenen hydrogeologischen und bodenhydrologischen Eigenschaften müssen entsprechend robuste Modellansätze gewählt werden.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen eines vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz geförderten Projektes in Kooperation zwischen dem Forschungszentrum Jülich GmbH und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover das Wasserhaushaltsmodell mGROWA (Herrmann et al., 2013) entwickelt. Mit mGROWA können der zeitlich variable Wassergehalt in den Böden, die auf Basis dieses Wassergehaltes und der klimatischen Bedingungen stattfindende Verdunstung, die Sickerwasserbewegung sowie auch die Grundwasserneubildung (und weitere Abflusskomponenten) in hoher räumlicher (z.B. 100 m Raster) und zeitlicher Auflösung (Tage) auf Landesebene für lange Zeiträume (hydrologische Perioden >30 Jahre) auf Basis beobachteter oder projizierter Klimadaten simuliert werden.

Im Rahmen des Beitrags wird das Wasserhaushaltsmodell mGROWA (Herrmann et al., 2013) kurz vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf das als Modul in mGROWA integrierte Bodenwasserhaushaltsmodell BOWAB (Engel et al., 2012) eingegangen. Schließlich werden simulierte Bodenfeuchteverteilungen, kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser und die Grundwasserneubildung für das gesamte Bundesland Niedersachsen (ca. 4,8 Mio. Rasterzellen) für die beobachtete hydrologische Periode von 1971-2000 präsentiert.

Herrmann, F., Chen, S., Heidt, L., Elbracht, J., Engel, N., Kunkel, R., Müller, U., Röhm, H., Vereecken, H., Wendland, F., 2013. Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 57(5): 206-224.

Engel, N., Müller, U., Schäfer, W. (2012): BOWAB - Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. GeoBerichte - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. 20, S. 85-98.

http://www.lbeg.niedersachsen.de/download/66598/Geoberichte_20.pdf

Groundwater Recharge Modelling using Low-Cost Measurement Technique

HARTMUT HOLLÄNDER¹, KIBREAB ASSEFA¹, ZIJIAN WANG¹, ALLEN WOODBURY¹

¹ Department of Civil Engineering, University of Manitoba

Kontakt: hartmut.hollaender@umanitoba.ca

Recharge is a major factor in water budget analysis and for nutrient leaching. The increasing demand by agriculture and the potential impact of fertilizer use on the groundwater quantity and quality are general problems which have to be dealt with under actual and future climate conditions. The vast and often remote country sides in Canada and the requirement in certain predictions in regard to water quantity and quality issues requests innovative and low-cost technology to derive valuable prediction for all kind of stakeholders.

We equipped a standard remote-sensor weather station (HOBOTM weather station) with moisture sensors (FDR, frequency domain reflectometry) and soil temperature sensors at three depths (up to 100 cm) and installed them in three different locations in southern British Columbia, Canada. Two locations (Abbotsford, the valley bottom of the Deep Creek watershed, Okanagan Valley) represent intensively used agricultural areas and one weather station was installed in the origin of the Deep Creek watershed which is mainly used by forestry (Silver Star Mountain in the Okanagan Valley).

We used physical-based vadose modelling using HYDRUS-1D (Šimůnek et al., 2008) with soil data which we derived a) from undistributed soil samples from the field sites and b) from upscaled soil data published by Environment Canada (Neilson et al., 2010). We were able to calibrate the models very well versus soil moisture and temperature as well from the soil samples and also from the upscaled field data. The estimated recharge on long-term simulations using climate data from Environment Canada correspond highly with other studies. E.g., an average recharge from 1984 to 2010 was estimated at 881 mm/year for the Abbotsford site while Scibek & Allen (2005) predicted less than 3% less recharge in that area.

The developed method on recharge estimation is capable to produce reasonable recharge prediction on any temporal resolution. The method is cost-effective in terms of purchasing and maintaining the remote sensor weather stations including FDRs and efficient in predicting recharge. Finally, we were able to apply the method on regional groundwater modelling in the Deep Creek watershed by linking groundwater and surface water using derived local recharge data as input for the regional recharge estimates (Assefa and Woodbury, 2013).

Assefa, K. A., and Woodbury, A. D., 2013. Transient, spatially varied groundwater recharge modeling, *Water Resources Research*, 49, 4593-4606, 10.1002/wrcr.20332.

Neilson D., Duke G., Taylor W., Byrne J., Kienzle S., and van der Gulik T., 2010. Development and Verification of Daily Gridded Climate Surfaces in the Okanagan Basin of British Columbia. *Canadian Water Resources Journal* 35 (2), 131–154.

Scibek, J., and Allen, D. M., 2006. Modeled impacts of predicted climate change on recharge and groundwater levels. *Water Resources Research* 42(11): W11405.

Šimůnek, J., van Genuchten, M. T., and Šejna, M., 2008. Hydrus-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, Version 4.0. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA.

Poster

P 3.1

Evaluation of soil water stable isotope analysis by H₂O(liquid)-H₂O(vapor) equilibration method

BENJAMIN GRALHER¹, CHRISTINE STUMPP¹

¹ Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München

Kontakt: benjamin.gralher@helmholtz-muenchen.de

Environmental tracers like stable isotopes of water ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) have proven to be valuable tools to study water flow and transport processes in soils. Recently, a new technique for soil water isotope analysis has been developed that employs a vapor phase being in isothermal equilibrium with the liquid phase of interest. This has increased the potential application of water stable isotopes in unsaturated zone studies as it supersedes laborious extraction of soil water. However, uncertainties of analysis and influencing factors need to be considered. Therefore, the objective of this study was to evaluate different methodologies of analysing stable isotopes in soil water in order to reduce measurement uncertainty. The methodologies included different preparation procedures of soil cores for equilibration of vapor and soil water as well as raw data correction. Two different inflatable sample containers (freezer bags, bags containing a metal layer) and equilibration atmospheres (N_2 , dry air) were tested. The results showed that uncertainties for $\delta^{18}\text{O}$ were higher compared to $\delta^2\text{H}$ that cannot be attributed to any specific detail of the processing routine. Particularly, soil samples with high contents of organic matter showed an apparent isotope enrichment which is indicative for fractionation due to evaporation. However, comparison of water samples obtained from suction cups with the local meteoric water line indicated negligible fractionation processes in the investigated soils. Therefore, a method was developed to correct the raw data reducing the uncertainties of the analysis. We conclude that the evaluated method is advantageous over traditional methods regarding simplicity, resource requirements and sample throughput but careful consideration needs to be made regarding sample handling and data processing. Thus, stable isotopes of water are still a good tool to determine water flow and transport processes in the unsaturated zone.

P 3.2

Column experiments and reactive transport calculations of Eu³⁺ using pure mineral phases and natural sediments

SUSAN BRITZ¹, ULRICH NOSECK¹, WOLFGANG DURNER², DIETER ZACHMANN²

¹ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH

² TU Braunschweig

Kontakt: susan.britz@grs.de

Surface reactions related to transport and retardation processes in groundwater systems depend on geochemical conditions that vary in time and space. For long-term safety analyses of radioactive waste repositories it is of great interest to better understand and to realistically assess these geochemically driven surface reactions, since they predominate the long-term control of

retardation processes.

To get an advanced insight into these processes column experiments are conducted representing geochemical conditions, which are as close to nature as possible. Typical sedimentary systems covering rock salt and clay formations in Northern Germany mainly consist of tertiary and quaternary sands and clays. Hence, natural sediments from the Gorleben site, Germany as well as pure mineral phases (orthoclase, muscovite, quartz) are applied in the conducted column experiments. To reflect changes in geochemical conditions over time parameters such as pH, ionic strength, ligand concentrations are varied in each experiment. Moreover, transient pH conditions are applied in selected columns.

For reactive transport calculations of the conducted experiments the geochemical speciation code PHREEQC in combination with UCODE (parameter estimation code) is applied. So-called surface complexation parameters (SCP) such as surface site density, specific surface area, and protolysis constants are derived from batch- and titration experiments. To calculate transport and retardation processes of potentially hazardous pollutants more realistically surface complexation models are developed that apply the priorly derived SCP.

The chosen geochemical approach aims at describing surface complexation processes of an element (here Eu^{3+} as a homologue for Cm and Am) on each single mineral phase (here muscovite, orthoclase and quartz) that contributes to the sorption coefficient of the sediment bulk composition in nature (bottom-up approach). This approach may not only be applied to sites in Northern Germany but also to any other potential repository site where essential data of reactive transport processes are missing underlining the importance of this study.

P 3.3

Einblicke in die Bodenwasserdynamik an steilen Hängen mittels Langzeitbeobachtungen an einem geneigten Großlysimeter

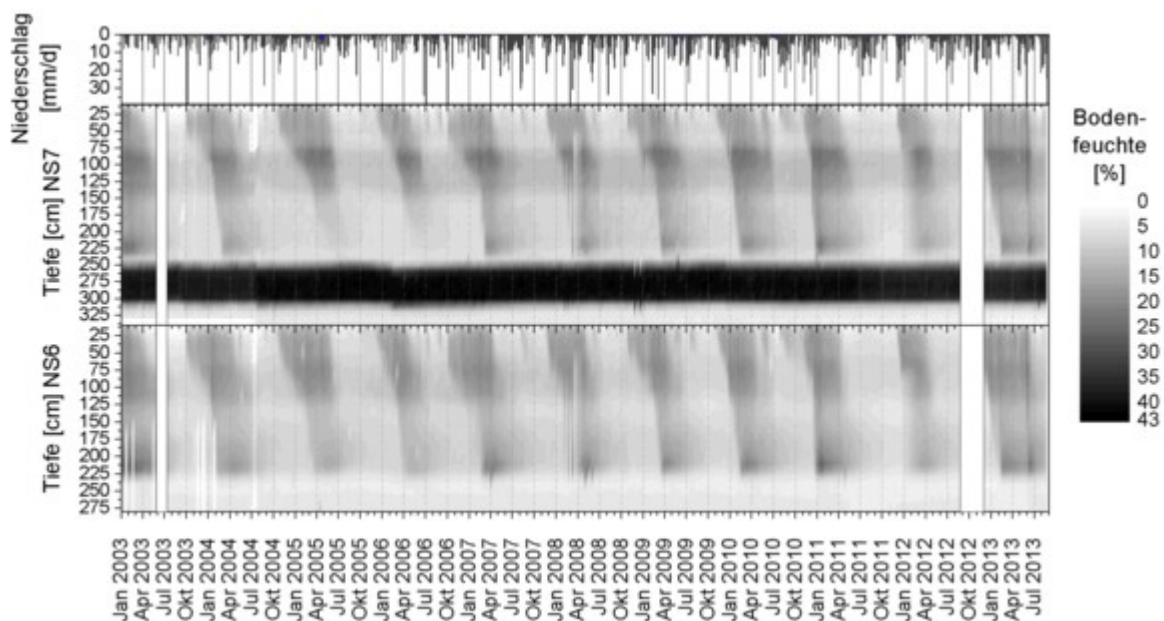
MICHAEL AUGENSTEIN¹, NADINE GÖPPERT¹, NICO GOLDSCHIEDER¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: michael.augenstein@kit.edu

Die Bodenwasserdynamik spielt eine Schlüsselrolle bei Abfluss- und Infiltrationsprozessen. Auf der Deponie West in Karlsruhe wurden mehrere Großlysimeterfelder in steiler Hanglage (23,5°) installiert, die eine detaillierte Beobachtung dieser Dynamik über einen langen Zeitraum erlauben. Das hier betrachtete Feld ist in ein oberes und ein unteres Teilfeld gegliedert. Zuoberst liegt eine gemeinsame Rekultivierungsschicht (2,2 m mächtig). Dann folgt eine für beide Teile separate Dränschicht (OKF, 15 cm). Auf dem oberen Teil folgt die 50 cm mächtige mineralische Dichtschicht, die im unteren Teil ausgespart wurde. Zuunterst liegt jeweils die Kapillarsperre. Seit dem Jahr 2000 werden hier Abfluss-, Bodenfeuchte- und Niederschlagsdaten gesammelt, wobei bis 2003 alle Resteinbauwässer abgeführt wurden. Somit stehen aussagekräftige Datenreihen von nahezu 10 Jahren über das Abflussverhalten der ungesättigten Zone zur Verfügung. Anhand der wöchentlichen Bodenfeuchtemessungen wurden Zeitreihenprofile erstellt (Abb. 1), welche die saisonalen Schwankungen abbilden und Zonen erhöhten Retentionspotentials in der Rekultivierungsschicht erkennen lassen (Bereiche höherer Verdichtung bzw. Wurzelzone). Die Bodenfeuchtemessstellen zeigen beim Übergang dieser Schicht zum OKF eine variable Initialfeuchte auf, ab der Wasser abgeführt wird. Dies lässt darauf schließen, dass auch höher

liegende Schichten eine Rolle beim Einsatz des Dränabflusses spielen (z.B. durch präferenzielle Fließwege). Durch die Aufteilung in zwei Teilfelder konnte über die gemeinsame Rekultivierungsschicht ein Interflow nachgewiesen werden. Die beiden separat gefassten OKFs nehmen pro Dränperiode eine unterschiedliche Menge an Sickerwasser auf, wobei der Anteil des unteren Kompartiments jeweils größer ist. Zwischen dem Gesamtdränabfluss und dem Verhältnis von Interflow/Gesamtdränabfluss (I/G) besteht ein negativer exponentieller Zusammenhang, wobei I/G immer größer als 0 ist. Durch die Korrelation der Niederschlagsdaten eines Zeitraumes von einem Jahr mit den Jahresabflussdaten des OKF, konnte eine mittlere Verweilzeit von 10 Monaten abgeschätzt werden. Durch Bodenfeuchtedifferenzen zeitlich aufeinander folgender Messungen lässt sich die saisonal bedingte einsickernde Feuchtefront in den Untergrund nachverfolgen. Dabei kann beobachtet werden, dass sich die Front im unteren Teilfeld schneller fortzusetzen scheint als im oberen. Für die unterste Messstelle ergibt sich so in der Saison 2012/2013 eine mittlere Sickergeschwindigkeit von 2,6 cm/Tag und für die oberste 1,4 cm/Tag. Die Daten aus einem Jahrzehnt kombinierter Langzeitmessungen bieten einen tieferen Einblick in die Charakteristik der Bodenwasserdynamik und der Bodenfeuchtevariation. So konnte ein Interflow nachgewiesen werden und das langfristige Durchpausen jahreszeitlicher Niederschläge und Extremereignisse im Bodenfeuchteprofil. Durch Bodenfeuchtedifferenzen konnte die saisonale Feuchtesickerfront im Spätjahr deutlich gemacht werden.



Niederschlag im Vergleich mit den Bodenfeuchteprofilen der Messstellen NS6 und NS7. Deutlich erkennbar die saisonal bedingten Bodenfeuchteschwankungen und die mineralische Dichtschicht in NS7 mit erhöhtem Bodenwassergehalt.

Einfluss der Klimaerwärmung auf Grundwassertemperaturen in oberflächennahen Aquiferen

KATHRIN MENBERG¹, PHILIPP BLUM¹, PETER BAYER²

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie

² Departement Erdwissenschaften, ETH Zürich

Kontakt: bayer@erdw.ethz.ch

Die Folgen der Klimaveränderungen in den letzten Jahrzehnten und die diversen Einflüsse auf den hydrologischen Kreislauf sind weitreichend bekannt. Wissenschaftliche Arbeiten beschäftigen sich vor allem mit Konsequenzen für hydrologische Prozesse an der Oberfläche (Bates et al., 2008). Vergleichbare Studien über Grundwassersysteme sind seltener, und die Auswirkungen des Klimawandels auf die Qualität des Grundwassers sind noch nicht vollständig verstanden (Green et al., 2011). Beispielsweise ist noch unklar, wie stark sich die Erwärmung der Lufttemperatur über die ungesättigte Zone auf die langzeitliche Entwicklung der Grundwassertemperatur, als wichtiger Faktor für die Wasserqualität, in oberflächennahen Aquiferen auswirkt.

In der vorliegenden Studie wird die Kopplung zwischen der Erwärmung der Atmosphäre und des Grundwassers mit Hilfe von statistischen Zeitreihenanalysen untersucht. Dazu werden Temperatur-Zeitreihen von mehreren Jahrzehnten in Pumpbrunnen an zwei Standorten in Deutschland auf abrupte Änderungen der langjährigen Durchschnittstemperatur hin ausgewertet. Um diese lokalen Veränderungen mit der überregionalen Klimaerwärmung in Bezug zu setzen, werden zusätzlich auch Zeitreihen von großräumig und global gemittelten Lufttemperaturen betrachtet.

Die beobachteten abrupten Anstiege der Grundwassertemperatur um die Jahre 1990 und 2000 stehen in einem eindeutigen Zusammenhang mit 1-3 Jahre vorausgehenden Änderungen im langjährigen Mittel der regionalen Lufttemperatur, die wiederum an Veränderungen der globalen Durchschnittstemperatur gekoppelt sind. Die Anstiege der Grundwassertemperatur finden mit einer zeitlichen Verzögerung zu den Änderungen der Lufttemperatur statt, die von der Mächtigkeit der ungesättigten Zone abhängt. Der Höhe der beobachteten Temperatursprünge im Grundwasser ist, verglichen mit den atmosphärischen Veränderungen, durch die thermische Ausbreitung der Temperatursignale im Untergrund etwas geringer, sodass die Erwärmung im Grundwasser vergleichsweise graduell verläuft. Dennoch finden sich, trotz der Abschwächung der Temperatursignale durch konduktiven und advektiven Wärmetransport im Untergrund, sowie der Durchmischung des oberflächennahen Grundwassers, ausgeprägte Verschiebungen des langjährigen Mittels hin zu wärmeren Grundwassertemperaturen. Diese unmittelbare Verknüpfung der Entwicklung von Luft- und Grundwassertemperaturen über die ungesättigte Zone zeigt, dass durch die Klimaerwärmung nicht nur Aquifere beeinflusst werden, die durch Uferfiltrat gespeist werden (Figura et al., 2011). Atmosphärische Temperaturänderungen und -sprünge lassen sich ebenso in oberflächennahen Aquiferen nachweisen, wenn diese nicht in direktem Austausch mit infiltrierenden Oberflächengewässern stehen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass ein weiterer Anstieg der Lufttemperatur einen erheblichen Einfluss, nicht nur auf die Bodentemperatur, sondern auch auf die Wassertemperatur in ergiebigen und wirtschaftlich bedeutsamen Aquiferen hat.

Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu S., & Palutikof, J. P. (2008): Climate Change and Water. 210 pp, Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat, Geneva.

Figura, S., Livingstone, D. M., Hoehn E., & Kipfer R. (2011): Regime shift in groundwater temperature triggered by the Arctic Oscillation. – *Geophysical Research Letters*, 38: L23401.

Green, T. R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Hiscock, K. M., Treidel, H., & Aureli, A. (2011): Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. – *Journal of Hydrology*, 405: 532-560.

4 Alpine hydrogeology

Oral Presentations

O 4.1: H18, NW II, 30.05.2014, 17:20-17:40

Künstliche und natürliche Tracer zur Bestimmung der Fließzeiten und Entwässerungssysteme in einem hochalpinen Karstgebiet, Wettersteingebirge (Bayerische Alpen)

UTE LAUBER¹, NICO GOLDSCHIEDER¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Abteilung Hydrogeologie, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: ute.lauber@kit.edu

Wasserressourcen in alpinen Karstgebieten sind für den regionalen Wasserhaushalt von großer Bedeutung (Viviroli & Weingartner 2004). Dabei haben mittlere Fließzeiten des Grundwassers und dominierenden Entwässerungsstrukturen einen großen Einfluss auf das Abflussverhalten von Quellen und Alpenflüssen. Während geringe unterirdische Fließzeiten entlang bevorzugter Fließwege einen raschen Abfluss begünstigen und damit Abflussspitzen und Hochwasserereignisse verstärken, kann ein Teil des Wassers entlang von Trennflächen und feinklütiger Gesteinsmatrix zwischengespeichert und in niederschlagsarmen Perioden langfristig als Basisabfluss abgegeben werden. Im Hinblick auf Klimaveränderungen und eine Umverteilung der Niederschläge ist daher ein umfassendes Verständnis der alpinen Grundwasserleiter erforderlich (Bates et al. 2008).

Zur Erforschung der alpinen Karstgebiete im deutschen Alpenraum findet derzeit ein Pilotprojekt im Wettersteingebirge statt; künstliche und natürliche Tracer sollen Aufschluss über die Fließzeiten und Entwässerungsstrukturen geben. Markierungsversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen zeigen Durchgangskurven mit langem Tailing, die eine breite Verteilung der Fließzeiten belegen. Kurze Fließzeiten von wenigen Tagen dominieren entlang von Karststrukturen und offenen Klüften, während es an den Randbereichen dieser Fließwege zu einem verzögerten Transport kommt. Die Fließzeiten sind stark von den hydrologischen Verhältnissen abhängig und können je nach Abflussbedingungen um den Faktor 5 variieren. Tracernachweise mehr als ein Jahr nach der Eingabe belegen eine langfristige Zwischenspeicherung in feinen Klüften und immobilen Zonen der mächtigen ungesättigten Zone und sind charakteristisch für den diffusiven Austausch zwischen Klüften und Matrix.

Als natürliche Tracer wurden stabile Wasserisotope verwendet. Die so ermittelten mittleren Fließzeiten von 1-3 Monaten können einem Netzwerk aus gut durchlässigen und gut vernetzten Klüften und Spalten zugeordnet werden. Die Isotopen-Signatur an den Quellen belegt ebenfalls eine langfristige Abflusskomponente, die mit einer Verweilzeit von mehreren Jahren wesentlich zur Wasserspeicherung im alpinen Karstsystem beiträgt. Insgesamt erlauben die neuen Erkenntnisse die Entwicklung eines konzeptionellen Modells mit drei verschiedenen Fließsystemen (Karst/ Kluft/ Matrix) und ermöglichen ein besseres Verständnis der alpinen Grundwasserleiter hinsichtlich Abflussbildung, Speicherfunktion und Vulnerabilität.

VIVIROLI, D. & WEINGARTNER, R. (2004): The hydrogeological significance of mountains: from regional to global scale. – *Hydrology & Earth System Science*, 8(6): 1016-1029; Göttingen.

BATES, B.C., KUNDZEWICZ, Z., PALUTIKOF, J., SHAOHONG, W. (2008): Climate change and water. – IPCC Technical paper VI. IPCC Secretariat; Geneva.

O 4.2: H18, NW II, 30.05.2014, 17:40-18:00

Flächendifferenzierte Wasserhaushaltsmodellierung im hochalpinen Terrain: Berücksichtigung von Schneehydrologie und Karstprozessen am Beispiel des Nationalpark Berchtesgaden

HARALD KUNSTMANN¹, MICHAEL WARSCHER¹, GABRIELE KRALLER², HELMUT FRANZ³, THOMAS MARKE⁴, ULRICH STRASSER⁴

¹ Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie

² Universität Salzburg

³ Nationalparkverwaltung Berchtesgaden

⁴ Universität Innsbruck

Kontakt: harald.kunstmann@kit.edu

Die Wasserhaushalt in hochalpinen Regionen wird charakterisiert durch hohe raumzeitliche hydrometeorologische Variabilität, komplexe hydrogeologische Bedingungen und extrem steile Geländegradienten. Traditionelle Methoden der flächendifferenzierten Wasserhaushaltsmodellierung stoßen hier häufig an ihre Grenzen, da präferentielle Fließpfade im Untergrund aufgrund von Karsteinfluss eine zentrale Rolle spielen, ebenso beeinflusst die Schneedeckendynamik signifikant die raumzeitliche Verteilung der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten.

Wir präsentieren die Quantifizierung des Wasserhaushalts im Nationalpark Berchtesgaden mit einem Schwerpunkt auf dem Einzugsbiet der Berchtesgadener Ache und ihrer Oberläufe. Hierzu wurde das flächendifferenzierte Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH um ein Energiebilanz-basiertes komplexes Schneemodell erweitert, das zusätzlich auch windinduzierten Schneetransport und gravitative Schneerutschungen beinhaltet. Präferentielle Fließpfade wurden auf Basis von Traceruntersuchungen identifiziert. Die Zu- und Abströme im Untergrund über die Grenzen des oberirdischen Einzugsbiets hinweg werden mit einer Erweiterung auf Basis eines neuen Neuronalen Netz Ansatzes innerhalb des Wasserhaushaltsmodells berücksichtigt.

Wir zeigen, wie erst durch die spezifischen karsthydrologischen Erweiterungen und die komplexen Schneedynamik-Beschreibungen das oberflächliche Abflussverhalten im Nationalpark Berchtesgaden erfolgreich nachvollzogen werden kann.

Kraller, G., Warscher, M., Kunstmann, H., Vogl, S., Marke, T., Strasser, U. (2012) Water balance estimation in high Alpine terrain by combining distributed modeling and a neural network approach (Berchtesgaden Alps, Germany), *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1969-1990, doi:10.5194/hess-16-1969-2012

Warscher, M., Strasser, U., Kraller, G., Marke, T., Franz, H. and H. Kunstmann, Performance of complex snow cover descriptions in a distributed hydrological model system: A case study for the high Alpine terrain of the Berchtesgaden Alps, *Water Resources Research*, Volume 49, Issue 5, May 2013, Pages: 2619–2637, doi: 10.1002/wrcr.20219

Errichtung und Schutz nachhaltiger Trinkwasserversorgungen in alpinen Tälern, Fallbeispiel Ebene Reichenau (Kärnten)

SYLKE HILBERG¹, FRANZ RIEPLER², JOCHEN SCHLAMBERGER³

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

² **GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH**

³ **Amt der Kärntner Landesregierung**

Kontakt: sylke.hilberg@sbg.ac.at

In alpinen Tälern ergeben sich aufgrund der räumlichen Beschränkungen oft Konflikte zwischen den Nutzungsansprüchen (Siedlungstätigkeit, Landwirtschaft, Gewerbenutzung, Tourismus) einerseits und den Schutzerfordernissen für Trinkwasserversorgungen andererseits. Zusätzliche Herausforderungen ergeben sich aufgrund der oft erschwerten Zugänglichkeit potentiell nutzbarer Quellen im Gebirge. Die Errichtung nachhaltiger Trinkwasserversorgungen in alpinen Siedlungsräumen stellt daher eine besondere Herausforderung dar.

Das Fallbeispiel beschreibt die Suche nach einer geeigneten Wasserversorgung für eine touristisch geprägte Gemeinde in Oberkärnten. Der Hauptsiedlungsraum liegt im glazial und fluvial geprägten Talraum. Das orografische Einzugsgebiet erstreckt sich über eine Höhenlage zwischen 1.000 m und 2.300 m Seehöhe. Der Talraum ist umgeben von generell gering wasserführenden paläozoischen Phylliten, die jedoch in weiten Bereichen oberflächlich aufgelockert sind und teilweise von Hangschuttmassen bedeckt werden. Basierend auf den Ergebnissen geologisch-hydrogeologischer Kartierungen wurden potentielle Wassernutzungen (Quellen und Brunnenstandorte) näher untersucht.

In einem kombinierten Ansatz verschiedener Erkundungsmethoden (hydrogeologische Kartierung, geophysikalische Untersuchungen, Bohrungen, Hydrochemie und Isotopenuntersuchungen) wurden Poren- und Kluftaquifere im orografischen Einzugsgebiet betrachtet. Dabei ergab sich eine unerwartet komplexe Internstruktur der Talfüllung mit einem bis dahin nicht bekannten (durch eine Deckschicht aus Stausedimenten geschützten) zweiten Grundwasserstockwerk. Die Auswertung von Zeitreihen stabiler Isotope aus Quellwässern der angrenzenden Kluftaquifere und den Wässern beider Grundwasserstockwerke ergab deutliche Unterschiede in der mittleren Höhenlage ihrer Einzugsgebiete. Während der Großteil der Quellen und das obere Grundwasserstockwerk sehr ähnliche Isotopensignaturen aufwiesen und auf ein lokales Einzugsgebiet schließen ließen, konnten die Daten aus dem tieferen Grundwasserstockwerk und einem großen Quellaustritt auf Talniveau nur durch eine Dotation aus einem deutlich höheren, weit vom Siedlungsraum entfernten Einzugsgebiet erklärt werden. Der ursprünglich als Kluftquelle mit lokalem Einzugsgebiet interpretierte Quellaustritt konnte dadurch als natürlicher Austritt eines artesisch gespannten Grundwasserstockwerks identifiziert werden.

Die Ergebnisse der Detailuntersuchungen ermöglichten die Errichtung einer gut schützbaren und nachhaltig nutzbaren Wasserversorgung in einem technisch leicht zugänglichen Gebiet innerhalb eines alpinen Versorgungsraumes.

Welchen Einfluss haben Revitalisierungen auf die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen?

ANNE-MARIE KURTH¹, MARIO SCHIRMER¹

¹ Wasserressourcen und Trinkwasser, Eawag

Kontakt: anne-marie.kurth@eawag.ch

Das Revitalisieren von Fliessgewässern ist eine mittlerweile weltweit anerkannte Methode zur Aufrechterhaltung des Hochwasserschutzes, zur Bewahrung der Integrität von Ökosystemen, und zum Schutz wertvoller Wasserressourcen (z.B. Wortley et al. 2013). Einige Länder, z.B. die EU oder die Schweiz, haben daher die Revitalisierung beeinträchtigter Fliessgewässer in ihren Gesetzen verankert. In der Schweiz gilt seit Januar 2011 ein revidiertes Gewässerschutzgesetz, welches Revitalisierungen vorschreibt und die Kantone verpflichtet, bis 2015 ihren Revitalisierungsbedarf festzulegen (GSchG 814.20). Insgesamt sollen so in den nächsten 80 Jahren 4000 km degradierter Fliessgewässer wieder in einen naturnaheren Zustand überführt werden. Die Fliessgewässerrevitalisierung in der Schweiz hat sich bereits im Laufe der letzten 30 Jahre, unabhängig von gesetzlichen Vorschriften, von einer umstrittenen Seltenheit zu einer Selbstverständlichkeit entwickelt. Trotz dieses immensen Erfolges dieser Entwicklung stellt sich die Frage, wie erfolgreich die eigentlichen Revitalisierungsmassnahmen tatsächlich sind. Mittlerweile gibt es verschiedene *tools* um verschiedene Aspekte der Fliessgewässer vor und nach deren Revitalisierung zu bewerten und so deren Erfolg zu untersuchen (z.B. Woolsey et al 2005). Diese *tools* vernachlässigen jedoch die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen, die einen Einfluss auf das Flussökosystem haben können. Eine Möglichkeit zur relativ einfachen Untersuchung der Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen bietet das *Distributed Temperature Sensing* (DTS). Diese Methode ermöglicht zeitgleiche Temperaturmessungen mit einer Genauigkeit von bis zu 0.01 °C auf Distanzen bis zu 30 km (Selker et al. 2006). Bei entsprechendem Grundwasserpegel lassen sich auf diese Weise relativ einfach Rückschlüsse auf die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen schliessen. In unserer Studie wurden hierzu der Chriesbach kurz vor und nach seiner Revitalisierung mittels DTS auf seine Grundwasser-Oberflächenwasser-

Interaktionen untersucht und mit natürlichen und naturnahen Bächen ähnlicher Grösse verglichen. Zudem wurde ein Glasfaserkabel in ca. 40 cm Tiefe in das Bachbett eingebracht, um die Langzeit-Veränderungen in der hyporheischen Zone, sowie der Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen nach der Revitalisierung zu untersuchen. Neben einer Erfolgskontrolle bzgl. der Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen könnte man damit auch abschätzen, wie sich die Bedingungen für das Ökosystem verändern könnten. Da Langzeitmessungen an diesen Standorten sehr Zeitintensiv sind, wurde die letzte Studie mit einem autonomen Messsystem durchgeführt, welches ferngesteuert und vollautomatisiert Temperaturdaten erhebt und auf einen zentralen Server abspeichert ohne dass eine direkte Bedienung notwendig ist.

Gewässerschutzgesetz 814.20 [Available at: http://www.admin.ch/ch/e/rs/c814_20.html]

Selker, J.S., Thévenaz, L., Huwald, H., Mallet, A., Luxemburg, W., van de Giesen, N., Stejskal, M., Zeman, J., Westhoff, M. and Parlange, M.B. (2006): Distributed fibre-optic temperature sensing for hydrologic systems. – *Water Resources Research*, 42: W12202.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tieg, S., Tockner, K. and Peter, A., 2005. *Handbook for evaluating rehabilitation projects in rivers and streams*. Publication by the Rhone-Thur project: Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ [online], p.108.

Wortley, L., Hero, J-M., Howes, M., 2013. Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature. *Restoration Ecology*, 21 (5), pp. 537 – 543. DOI 10.1111/rec.12028.

O 4.5: H18, NW II, 30.05.2014, 18:40-19:00

Flussrevitalisierungen und künstliche Grundwasseranreicherung zur Dämpfung von Hochwasserspitzen – Untersuchungen im Einzugsgebiet der Thur (Schweiz)

DIRK RADNY¹, MARIO SCHIRMER¹

¹ Dep. Wasserressourcen und Trinkwasser, Eawag

Kontakt: dirk.radny@eawag.ch

Das Einzugsgebiet der Thur im Nordosten der Schweiz beinhaltet voralpine Grundwassersysteme, welche eine wichtige Rolle für die Trinkwasserversorgung und die alluvialen Grundwasserleiter im Mittelland spielen. Die vorwiegend kanalisierte Thur drainiert die Vorgebirge der Schweizer Kalkalpen in Richtung Rhein und ist zudem der grösste Fluss in der Schweiz, welcher keine Retentionsbecken wie z. B. Seen im Verlauf aufweist. Der Abfluss der Thur ist sehr dynamisch und liegt zwischen 3 und 1100 m³/s (mittlerer Abfluss bei etwa 53 m³/s). Zahlreiche Brunnen entlang der Thur und im Thur-Tal werden für die Trinkwasserversorgung genutzt. Allerdings fallen einige dieser Brunnen nach längeren Trockenperioden im Sommer trocken, wohingegen periodisch auftretende Hochwasser nach der Schneeschmelze im späten Frühling substantielle Schäden verursachen können.

Im multidisziplinären RECORD Catchment Projekt, ein Folgeprojekt des RECORD Projektes (RECORD – REstored CORridor Dynamics) untersuchen wir, welche Massnahmen am effektivsten einen Flusskorridor beeinflussen können, so dass sowohl das Trockenfallen von Brunnen, als auch Hochwasserereignisse verhindert bzw. zumindest gedämpft werden können. Hierbei stehen vor allem Flussrevitalisierungen und die künstliche Grundwasseranreicherung im Fokus der Untersuchungen. Weiterhin versuchen wir, Schlüsselindikatoren herzuleiten, um Empfehlungen für zukünftige Flussrevitalisierungsprojekte entlang der Thur geben zu können.

Mit der Kombination von ökologisch und ökonomisch nachhaltiger Wassergewinnung und –speicherung kann das Wasser innerhalb eines Einzugsgebietes räumlich und zeitlich umverteilt werden. Dies kann durch eine Kombination von Flussrevitalisierungen, welche dem Fluss mehr Platz geben und eine verstärkte Oberflächenwasser-/Grundwasserinteraktion ermöglichen, sowie dem Rückhalt und der Umverteilung innerhalb von Teileinzugsgebieten, Retentionsbecken und künstlicher Grundwasseranreicherung erreicht werden. Weiterhin untersuchen wir die Hypothesen, ob durch Flussrevitalisierungen ein verstärkter hyporheischer Austausch stattfindet und ob durch eine verstärkte Interaktion mit ufernahen Bereichen die Qualität des Flusswassers verbessert wird. Zusätzlich können z.B. im Fluss befindliche Spurenstoffe im Untergrund teilweise wesentlich effektiver durch Mikroorganismen eliminiert werden, als dies durch Abwasserreinigungsanlagen erreicht wird. Eine Verbesserung der Wasserqualität im gesamten Thur-Einzugsgebiet wäre hierdurch erreichbar.

Identification of groundwater nitrate sources in pre-alpine catchments

MYRIAM STOEWER¹, CHRISTINE STUMPP¹

¹ Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München

Kontakt: Myriam.Demuth@helmholtz-muenchen.de

Porous aquifers in pre-alpine areas are often used as drinking water resources due to their good water quality status and water yield. Maintaining these resources requires knowledge about possible sources of pollutants and a sustainable management practice in groundwater catchment areas. Of particular interest in agricultural areas, like in pre-alpine regions, is limiting nitrate input as main groundwater pollutant. Therefore, the objective of the presented study is to identify main nitrate sources in a pre-alpine groundwater catchment with current low nitrate concentration using stable isotopes of nitrate ($d^{18}\text{O}$ and $d^{15}\text{N}$). The groundwater catchment areas of four porous aquifers are located in southern Germany. Most of the land use is organic grassland farming as well as forestry and residential area. Thus, potential sources of nitrate mainly are mineral fertilizer, manure/slurry, leaking sewage system and atmospheric deposition of nitrogen compounds. Monthly freshwater samples (precipitation, river water and groundwater) were analysed for stable isotope of water ($d^2\text{H}$, $d^{18}\text{O}$), the concentration of major anions and cations, electrical conductivity, water temperature, pH and oxygen. In addition, isotopic analysis of $d^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ and $d^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ for selected samples was carried out using the denitrifier method. In general, all groundwater samples were oxic ($10.0 \pm 2.6 \text{ mg/L}$) and nitrate concentrations were low ($0.2 - 14.6 \text{ mg/L}$).

The observed nitrate isotope values in the observation area compared to values from local precipitation, sewage, manure and mineral fertilizer as well as to data from literature showed that the nitrate in freshwater samples is of microbial origin. Nitrate derives from ammonium in fertilizers and precipitation as well as from soil nitrogen. It is suggested that a major potential threat to the groundwater quality is ammonia and ammonium at a constant level mainly from agriculture activities as well as slow release of nitrogen stored in soils due to mineralization processes. Even though nitrate contamination was low in the study area, the results emphasize the importance of reducing additional nitrate sources in pre-alpine oxic aquifers. This will maintain the good water quality status of the aquifers and enable its use for drinking water supply.

Poster

P 4.1

Hydrogeologische Modellierung eines glazial-fluviatilen Grundwasserleiters unter vorhergesagten Klimaänderungen

CHRISTIAN MOECK¹, ANTOINE BAILLIEUX², PHILIP BRUNNER³, MARIO SCHIRMER¹, DANIEL HUNKELER³

¹ Centre of Hydrogeology and Geothermics (CHYN), University of Neuchâtel, Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology

² INRA, Université d'Avignon

³ Centre of Hydrogeology and Geothermics (CHYN), University of Neuchâtel

Kontakt: christian.moeck@unine.ch

Die Bestimmung der aktuellen und zukünftigen Grundwasserneubildung ist entscheidend für ein nachhaltiges Wassermanagement. Veränderungen und Umverteilungen in Temperaturen und Niederschlag durch die Klimaänderungen können zu einem Wasserdefizit in der Wasserversorgung führen. Diese Studie untersucht wie Veränderungen in der Grundwasserneubildung die Grundwasserspiegel eines kleinen glazial-fluviatilen Grundwasserleiters in der Nordschweiz beeinflussen. Es wird untersucht, ob saisonale Veränderungen zur Wasserknappheit führen können.

Aus einer großen Anzahl an Felddaten (umfangreiche geophysikalische Daten, Bohrkernanalysen, Pumpstests sowie Markierungsversuchen in der gesättigten und ungesättigten Zone) wurde ein 3D Model des Untersuchungsgebietes erstellt. Um Veränderungen in Grundwasserneubildung und -spiegel zu simulieren, wurde das physikalisch basierte numerische Model HydroGeoSphere verwendet. Die Simulationen basieren auf 10 Klimamodellketten (Kombinationen zwischen Globalen Klima Modellen (GCMs) x Regionalen Klima Modellen (RCMs)) des A1B Emission Scenario (CH2011).

Die systematische Analyse der Simulationen zeigt, dass die Grundwasserneubildung unter den prognostizierten Klimaänderungen im Herbst und nicht wie erwartet im Sommer am stärksten abnimmt. Eine „Verlängerung“ des Sommers in den Herbst ist zu beobachten. Zusätzlich, führt ein starkes Austrocknen des Bodens im Sommer dazu, dass deutlich mehr Niederschlag im Herbst benötigt wird, um den Bodenspeicher aufzufüllen und das eine deutliche Grundwasserneubildung entsteht. Die dazugehörigen tieferen Grundwasserspiegel führen zu einem temporalen Wassermangel, der jedoch stark von der gewählten Klimamodellkette abhängt. Die Unsicherheit durch die Variabilität in den vorhergesagten Änderungen in Temperaturen und Niederschlag zwischen den Klimamodellketten ist groß. Hingegen, sagen fast alle Klimamodellketten eine Zunahme der Grundwasserneubildung im Winter voraus. Obwohl eine große Unsicherheit durch die Klimamodellketten gegeben ist, zeigen alle den gleichen saisonalen Trend. Bei Betrachtung der jährlichen Grundwasserneubildungswerten zeigen sich unter Einbeziehung aller Klimamodellketten kaum Veränderungen zwischen simulierten historischen und zukünftigen Grundwasserneubildungsraten und -spiegel.

Zusätzlich zu den genannten Analysen wurden zukünftige Grundwasserneubildungsraten mit Trockenperioden wie dem Hitzesommer 2003 verglichen. Die Häufigkeiten und Intensitäten in zukünftigen Extremereignissen konnte für ein „Worst-Case“ Szenario quantifiziert werden. Eine Zunahme in Häufigkeit und Intensität in Extremeereignissen für Grundwasserneubildung ist zu

verzeichnen. Die Häufigkeit der Trockenperioden bis zum Ende des Jahrtausends nimmt mit einem Faktor von 5 zu.

CH2011 (2011), Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 9783033030657.

P 4.2

Hydrogeologische Erkundung eines alpinen Marmorkarstvorkommens zur geothermalen Nutzung

*RAFAEL SCHÄFFER*¹, *CLAUS-DIETER HELDMANN*¹, *INGO SASS*¹

¹ **Fachgebiet Angewandte Geothermie, Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Darmstadt**

Kontakt: schaeffer@geo.tu-darmstadt.de

Karstaquifere können sich durch ihre erhöhten Permeabilitäten vorteilhaft auf die Leistung geothermischer Systeme auswirken. Allerdings bedingen ihre Eigenschaften auch besondere Anforderungen an Erkundung und Erschließung. In Finkenberg im Tuxertal (Tirol, Österreich) wurde der Marmorkarstaquifer der Hochstegenformation gezielt als mitteltiefer Erdwärmesondenspeicher erkundet.

Flächendeckende Untersuchungen an Quellen und Bächen im Tuxertal führten dazu, dass den tektonischen Einheiten in Abhängigkeit ihrer Lithologie charakteristische hydrochemische Signaturen zugeordnet werden können. Es konnte festgestellt werden, dass das Einzugsgebiet der Hochstegenformation im Gebiet Finkenbergs von 840 m ü. A. bis 2.650 m ü. A. reicht.

Durch geologische Kartierung und eine Erkundungsbohrung stellte sich heraus, dass die tektonische Situation komplexer ist, als in der amtlichen geologischen Karte dargestellt. Lokal sind wesentlich größere Mächtigkeiten der Hochstegenformation zu erwarten als bislang angenommen. Auch die Schichtenfolge ist unregelmäßiger als zunächst vermutet.

Beim Abteufen der Bohrungen des Erdsondenwärmeentzugs- und speichersystem konnten verkarstete Bereiche bis 400 m unter Gelände nachgewiesen werden. Ermittelte Grundwasserfließgeschwindigkeiten betragen über 14 m/d. Durch die Bauarbeiten begleitende Quellbeweissicherung war es möglich, im obersten Grundwasserstockwerk Abstandsfließgeschwindigkeiten zu bestimmen.

P 4.3

Die Rolle des Hangwassers für Abflußspitzen in einem vor-alpinen Kopfeinzugsgebiet

*JANA VON FREYBERG*¹, *MARIO SCHIRMER*¹

¹ **Eawag, Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser, Gruppe Hydrogeologie, Überlandstrasse 133, CH-8600-Dübendorf**

Kontakt: jana.vonfreyberg@eawag.ch

Einzugsgebiete können in hydraulisch ähnliche Landschaftseinheiten unterteilt werden, zum Beispiel Uferzonen, Hänge und Plateaus etc. Hierbei werden die Hänge häufig als wichtigste

abflußbildende Landschaftseinheiten kategorisiert (z. B. Seibert & McGlynn 2005). In den nördlichen Schweizer vor-Alpen bestehen die Hänge meist aus glazialen Lockersedimenten mit sehr heterogener Zusammensetzung und Korngrößen von Ton bis Geröll. Hydraulische Durchlässigkeiten sind im Durchschnitt sehr gering, sodass die Generierung von Abflussspitzen während Niederschlagsereignissen entweder durch präferentielle Fließpfade oder variable beitragende Flächen (auf denen beispielsweise Oberflächen- oder oberflächennaher Abfluss generiert werden) erklärt wird (Gurtz et al. 2003).

Die Hänge werden häufig intensiv landwirtschaftlich genutzt und somit ist ihre hydraulische und hydrologische Vernetzung mit den Flüssen und flussnahen Gebieten untrennbar mit der Mobilisierung und dem lateralen Transport gelöster Stoffe (z. Bsp. Nährstoffe) in die Oberflächengewässer verknüpft

In einem vor-Alpinen Kopfeinzugsgebiet der Thur (Seneviratne et al. 2012) untersuchen wir, welche Grundwasserfließprozesse während Niederschlagsereignissen eine dominante Rolle spielen. Eine wesentliche Fragestellung ist hierbei, unter welchen gebiets- und ereignisspezifischen Randbedingungen eine hydraulische und hydrologische Vernetzung der verschiedenen Landschaftseinheiten stattfindet und welche Transportpfade an der Abflusskonzentration beteiligt sind.

Zur Charakterisierung der hydrogeologischen Verhältnisse wurden Infiltrationsversuche, Slug-Tests sowie geophysikalische Messungen durchgeführt. Durch Langzeit-Monitoring von Grund- und Oberflächenwasser in verschiedenen Landschaftseinheiten konnten wichtige Rückschlüsse über Reaktionsmechanismen während Niederschlagsereignissen gezogen werden.

Unsere bisherigen Ergebnisse deuten an, dass weniger die Hänge als vielmehr die flache Talsohle die Generierung von Flutereignissen in dem untersuchten Kopfeinzugsgebiet bestimmt. Hier findet während Niederschlagsereignissen vorwiegend Infiltrationsüberschuss und Sättigungsflächenabfluss statt, da die Hänge die Talsohle kontinuierlich mit Grundwasser versorgen und die Grundwasserspiegel hier dementsprechend flach sind. Der Beitrag durch Hanggrundwasser ist meistens um mehrere Stunden verzögert und auch vergleichsweise gering, da nur der unterste Teil der Hänge hydraulisch angebunden ist. Es bleibt zu untersuchen, inwiefern die „Puffer-Funktion“ der Uferzone Nährstoffeinträge des einströmenden Hanggrundwassers abdämpft und wie dies von der Intensität des Niederschlagsereignisses und der Vorfeuchte im Hang bestimmt wird.

Seibert, J. & B. McGlynn (2005): Landscape Element Contributions to Storm Runoff. - In: *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, M. G. Anderson (eds.), pp. 1751-1761, John Wiley & Sons, Ltd.

Gurtz, J., M. Zappa, K. Jasper, H. Lang, M. Verbunt, A. Badoux, and T. Vitvar (2003): A comparative study in modelling runoff and its components in two mountainous catchments - *Hydrol. Process.*, 17(2), 297-311.

Seneviratne, S.I., I. Lehner, J. Gurtz, A.J. Teuling, H. Lang, U. Moser, D. Grebner, L. Menzel, K. Schrott, T. Vitvar, M. Zappa (2012): Swiss prealpine Rietholzbach research catchment and lysimeter: 32 year time series and 2003 drought event - *Water Resour. Res.*, 48(6), W06526.

5 Geophysical methods in hydrogeology

Oral Presentations

O 5.1: H17, NW II, 29.05.2014, 14:00-14:20

Thermo-Flowmeter-Monitoring - Hochauflösende Messungen von vertikalen Strömungsgeschwindigkeiten

PETER HALLA¹

¹ Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH&Co. KG

Kontakt: peter.halla@berghof.com

Bei dem Thermo-Flowmeter handelt es sich um ein hochauflösendes Flowmeter, das Fließgeschwindigkeiten über einfache Temperatureffekte misst. Die Vorteile des Thermo-Flowmeters resultieren aus der hohen Empfindlichkeit des innovativen Messprinzips bei gleichzeitig reduziertem Messaufwand. Anwendungsgebiete sind:

1. Detektierung von Hydraulischen Kurzschlüssen: aufgrund der hohen Messgenauigkeit des Systems können nun auch kleinste Hydraulische Kurzschlüsse mit Geschwindigkeiten von bis zu 1 mm/s detektiert werden.
2. Bestimmung vertikaler Kf-Wert Verteilungen: aufgrund der hohen Auflösung kann jetzt auch in Geringleitern und in großvolumigen Brunnen die vertikale Kf-Wert-Verteilung bestimmt werden. Die zu messenden Grundwassermessstellen und Brunnen müssen nur geringfügig angeregt werden.
3. Qualitative Überprüfung von Filterstrecken: das Thermo-Flowmeter wird dabei zentrisch in einen Scheibenpacker eingebaut. Beim Ablassen des Packer-/Flowmeters ergeben sich über die Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit qualitative Hinweis auf Heterogenitäten im Filterbereich.
4. Horizontierte Probenahmen: aus den Thermo-Flowmetermessungen lässt sich die vertikale Verteilung der Zuflussraten in Brunnen und Grundwassermessstellen bestimmen. Mit Hilfe kleiner im Förderstrom plazierten Low-Flow-Doppelventilpumpen werden horizontierte Mischproben entnommen. Über die Rückrechnung der Mischungsverhältnisse mit Hilfe der bekannten Zuflussraten aus der Thermo-Flowmetermessung ergeben sich stockwerksbezogene, horizontierte Konzentrationsverteilungen Dieses Verfahren kann in jeder Messstelle / Brunnen eingesetzt werden. Ein spezieller Ausbau ist hierfür nicht notwendig.
5. 3D-Darstellungen von Schadstoffkonzentrationen: die oben angeführte Methode der Horizontierten Probenahme kann auch während der Durchführung eines Immissionspumpversuchs eingesetzt werden. Damit können die bei Immissionspumpversuchen zu erzielenden Entnahmebreiten und die damit verbundenen Schadstoffkonzentrationen nicht nur horizontal sondern auch vertikal aufgelöst werden. Im Ergebnis sind dann 3-dimensionale Scheibenmodelle der Schadstoffverteilung im Untergrund darstellbar.

Die dargestellte neue innovative Technologie wurde durch die Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau (VEGAS) entwickelt und wird durch die Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH&Co KG zum marktfähigen Produkt umgesetzt. Das Thermo-Flowmeter wurde mit dem 2.ten Preis des „NICOLE Technology Award 21012“ ausgezeichnet. Das innovative Potenzial dieses Produktes liegt hauptsächlich in der hohen Messauflösung des thermischen Sensors und der damit

verbundenen hohen Messgenauigkeit des Gesamtsystems. Damit verbunden sind neue Verfahren und Methoden zur Grundwassererkundung möglich geworden → das Thermo-Flowmeter Monitoring.



Thermo-Flowmeter

Klaas, N., Heitmann, T., Skodic, B. (2010): Development And Application Of A Novel Ground Water Sampling System For Volatile Compounds And Redox Sensitive Parameters From Groundwater Monitoring Wells. Presentation at the Consoil Conference, September 22-24, 2010, Salzburg, Austria.

Barczewski, B.; Marschall, P. (1990): Untersuchungen zur Probennahme aus Grundwassermessstellen. Wasserwirtschaft 80, Heft 10, S. 506 - 513; Stuttgart.

Barczewski, B. et al. (Hrsg) (2004): VEGAS Statuskolloquium 2004; Mitteilungen / Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart: H. 131; Stuttgart.

Braun, J., Heitmann, T. und N. Klaas (2009): Projektverbund Vor-Ort-Messtechnik, TV 1: Entwicklung eines Validierungsverfahrens als Voraussetzung für den Technologietransfer in die Praxis der Altlastenbearbeitung; Wissenschaftlicher Bericht Nr. VEG 35, 2009/04. Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 4/2009.

DECHEMA e.V. (HRSG.) (2008): Handlungsempfehlungen, Natürliche Schadstoffminderung bei der Sanierung von Altlasten, Bewertung und Anwendung, Rechtliche Aspekte, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz, mit Methodensammlung; Projektübergreifende Begleitung des BMBF-Förderschwerpunktes KORA; Frankfurt a.M. November 2008.

Zeitschrift Grundwasser, Band 18; Heft 3; September 2013; S.214 bis S.215

HALLA, P., Weiß, H., Karch, G. (2011): Bestimmung vertikaler kf-Wert Verteilungen, Detektierung hydraulischer Kurzschlüsse, horizontalisierte Probenahme, Überprüfung von Filterstrecken; Tagungsband: 3. TASK Symposium „Zukunft Altlasten – Strategien und Technologien Made in Germany“, 08.-09. Juni 2011, Leipzig.

Vergleich verschiedener Verfahren zur Wassergehaltsbestimmung unter Feldbedingungen

THOMAS VIENKEN¹, ED REBOULET², CARSTEN LEVEN³, MANUEL KRECK¹, LUDWIG ZSCHORNACK¹, PETER DIETRICH⁴

¹ UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

² Kansas Geological Survey

³ Eberhard Karls Universität Tübingen

⁴ UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung & Eberhard Karls Universität Tübingen

Kontakt: thomas.vienken@ufz.de

Die vertikal hochauflösende Erfassung der Variation von Wassergehalten in Böden und Grundwasserleitern ist für eine große Breite an wissenschaftlichen Fragestellungen entscheidend, die vom Wasserressourcenmanagement bis hin zu Grundwasserströmungs- und Transportmodellierungen reichen. Häufig eingesetzte Verfahren sind dabei die volumetrische Wassergehaltsbestimmung (vor allem in der vadosen Zone) und die Neutron-Neutron-Technologie, die auch häufig zur Bestimmung der absoluten Porosität in der phreatischen Zone genutzt wird. Darüber hinaus sind seit einigen Jahren Direct Push getriebene Sensorsonden verfügbar, die über die Erfassung der dielektrischen Eigenschaften des Untergrundes eine vertikal hochaufgelöste Erfassung von Wassergehalten ermöglichen. Diese Sensorsonden sind in der Praxis jedoch weit weniger etabliert. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionsprinzipien verfügen diese Methoden über verschiedene Vorteile und Limitationen. Eine gemeinsame Evaluierung dieser drei Techniken unter Feldbedingungen fehlt allerdings bislang.

Im Rahmen einer Studie (siehe Vienken et al. 2013) wurden daher die volumetrische Wassergehaltsbestimmung, das Neutron-Neutron-Verfahren und eine Direct Push basierte Sensorsonde auf drei Feldstandorten unter verschiedenen (hydro)-geologischen Bedingungen getestet. Der Fokus der Untersuchung lag hierbei auf der Direct Push getriebenen Sensorsonde, dem Water Content Profiler (WCP). Im direkten Vergleich zeigt sich, dass der WCP eine gute Alternative zur gängigen Neutron-Neutron-Technologie darstellt und in dieser Studie der volumetrischen Wassergehaltsbestimmung hinsichtlich der vertikalen Auflösung und Effizienz überlegen ist. Die Ergebnisse weisen sehr deutlich die Grenzen der angewandten Methoden auf, die im Rahmen einer praktischen Anwendung und kritischen Betrachtung von Messergebnissen berücksichtigt werden sollten.

Vienken, T., Reboulet, E., Leven, C., Kreck, M., Zschornack, L., and Dietrich, P. 2013. Field comparison of selected methods for vertical soil water content profiling. *Journal of Hydrology*, 501: 205-212.

Imaging and characterization of spatial connectivity in a heterogeneous alluvial aquifer

NILS GUETING¹, ANDREAS ENGLERT², JAN VANDERBORGHT¹, JAN VAN DER KRUK¹, HARRY VEREECKEN¹

¹ IBG-3, Forschungszentrum Jülich

² Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: n.gueting@fz-juelich.de

Predicting groundwater flow and contaminant transport in the subsurface is challenging because of the complex heterogeneity found in most geologic media. Of particular significance for flow and transport processes is the question if specific subsurface structures are spatially connected or not. Connected structures of high permeability act as preferential flow paths and lead to increased water fluxes and increased transport velocities. Connected structures of small permeability act as flow barriers and lead to decreased water fluxes and decreased transport velocities. Although knowledge of the connectivity structure is critical for flow and transport predictions, its characterization in natural aquifers is difficult because the subsurface is not easily accessible through measurements. In this study, we present an approach how to characterize spatial connectivity in the field based on high-resolution cone penetration tests (CPT) and full-waveform inversion of cross-hole ground penetrating radar (GPR) data. We apply the approach to field data from the uppermost alluvial aquifer at the Krauthausen test site, which was found to exhibit considerable heterogeneity in previous studies. Our approach consists of the following steps: First, we apply a cluster analysis with the CPT data and with the GPR data to distinguish different facies in the subsurface. While the CPT data set yields the detailed distribution of facies in vertical profiles, the GPR data set resolves the lateral distribution of facies in two-dimensional sections between boreholes. We develop a lithological interpretation of individual facies based on (1) soil properties derived from CPT, (2) electrical properties derived from GPR, and (3) grain size distributions measured in co-located boreholes. We characterize facies architecture on 2D planes between several boreholes and derive connectivity metrics for each facies. Using several planes with different orientations allows us to evaluate horizontal anisotropy and to draw conclusions about facies connectivity in 3D. Finally, we compare facies architecture and connectivity structure with the results of previously conducted pumping and tracer tests. Our work is still in progress, but first results look promising that the cluster analysis performed with CPT and GPR data allows to identify a set of distinct lithological facies in the subsurface. Boundary layers between individual facies appear to correlate with changes in grain size distribution measured in co-located boreholes. Moreover, a first comparison of the spatial distribution of facies derived independently from CPT and from GPR showed good agreement. Thus, we are confident that a detailed analysis of our data will provide important insights about facies connectivity in the subsurface, which is of critical importance for predicting flow and transport in heterogeneous aquifers.

Der Umgang staatlicher Geologischer Dienste mit der Wünschelrute im 20. Jahrhundert

SVEN RUMOHR¹

¹ Abteilung Wasser, Dezernat Hydrogeologie, Grundwasser, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Kontakt: sven.rumohr@hlug.hessen.de

Die Beschäftigung mit Fragen der Wünschelrutengängerei ist aus heutiger Sicht keine Aufgabe einer technisch-wissenschaftlichen Umweltbehörde. Das „Wünschelrutenarchiv“ des ehemaligen Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (HLfB) belegt jedoch eindrucksvoll, dass dies in nicht allzu ferner Vergangenheit anders war. Dieses Wünschelrutenarchiv umfasst Berichte und Notizen von ca. 1900 bis in die frühen 1970er Jahre. Eines der jüngsten Stücke dieses Archivs ist eine Aktennotiz von Herrn Georg Mattheß aus dem Jahr 1970 zur Anschaffung des Buchs *Le signal du sourcier* von Yves Rocard (1962) durch die Bibliothek des HLfB.

Das Wünschelrutenarchiv des HLfB ist eine Sammlung von über 1.000 Schriftstücken wie handschriftliche Notizen, Zeitungsausschnitten, Briefwechseln, Berichten und Gutachten, die bis 1970 zusammengetragen bzw. selbst verfasst und unter einer eigenständigen Aktenzeichengruppe abgelegt wurden. Dem HLfB wurden Unterlagen durch Geologische Dienste anderer Bundesländer und des Auslands sowie von Firmen, Gemeinden, Befürwortern und Gegner der Wünschelrute zugesandt. Die Unterlagen wurden teils thematisch, teils nach Namen von Rutengängern sortiert.

Die Entstehung und Führung des Wünschelrutenarchivs ist eng mit der Person von Herrn Prof. Franz Michels verbunden, der das HLfB von 1946 bis 1959 leitete. Michels war bereits bei der Preußischen Geologischen Landesanstalt in Berlin, bei der er ab 1924 tätig war, mit Fragen der Wünschelrutengänger betraut. Nach 1945 wurde er – wie es die Zeitschrift *Der Spiegel* in der Ausgabe vom 29.4.1950 ausdrückte – zur „inoffiziellen Zentrale“ der Geologischen Landesämter bzw. Landesanstalten Westdeutschlands in allen Rutengänger-Angelegenheiten.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die Entstehung und Inhalte des Wünschelrutenarchivs sowie einen Einblick in den Umgang der Geologischen Dienste mit der Wünschelrutenfrage.

Rocard, Y.: *Le signal du sourcier*. 136 S.; Dunod, Stuttgart (1962)

Poster

P 5.1

Modellierung der Grundwasserversalzung in Niedersachsen basierend auf aerelektromagnetischen – und Grundwasser-beschaffenheitsdaten

NICO DEUS¹, JÖRG ELBRACHT¹

¹ L3.6, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

Kontakt: nico.deus@lbeg.niedersachsen.de

Aus der öffentlichen Wasserversorgung werden ca. 8 Mio. Einwohner Niedersachsens mit Trinkwasser versorgt. Da das Trinkwasser zu etwa 86 % dem Grundwasser entnommen wird, sind für eine dauerhafte Sicherung der Trinkwasserversorgung fundierte Kenntnisse über den Aufbau der Grundwasserleiter sowie die Beschaffenheit des Grundwassers erforderlich. Dabei hat sich gezeigt, dass die bislang vorliegenden Informationen besonders für Gebiete mit geogen versalztem Grundwasser als Planungs- und Bewirtschaftungsgrundlage oft unzureichend sind. Die aktuelle Datengrundlage des LBEG, die hydrogeologische Übersichtskarte „Grundwasserversalzung“ im Maßstab 1:200.000, stößt in der wasserwirtschaftlichen Praxis sowohl bei der regionalen Auflösung, als auch in der tiefenabhängigen Darstellung der Salz-/Süßwassergrenze teilweise an ihre Grenzen. Um das Informationsangebot zu verbessern, wurde in einem Pilotvorhaben getestet, ob die bislang vorhandenen Kenntnisse durch die Verwendung geophysikalischer Befliegungsdaten verbessert werden können.

Vor diesem Hintergrund wurden Daten von verschiedenen elektromagnetischen Verfahren in Zusammenarbeit mit dem Leibniz Institut für angewandte Geophysik (LIAG), der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und der Universität Hannover für drei Projektgebiete ausgewertet (Klimke 2011, Ertl 2012, Gössmann 2012). Die Ergebnisse dieser Arbeiten haben gezeigt, dass elektromagnetische Daten einen deutlichen Zugewinn bei der Kartierung von Grundwasserversalzungen bieten und so die Lage der Salz-/Süßwassergrenze detailliert dargestellt werden kann. Zusätzlich konnte verdeutlicht werden, dass eine Koppelung der elektromagnetischen Daten an geologische Informationen (Bohrungen, geol. Profilschnitte, 3D-Untergrundmodelle) zwingend notwendig ist, um Bereiche mit versalztem Grundwasser von feinkörnigen Ablagerungen unterscheiden zu können.

Die Erkenntnisse der Pilotprojekte sind in ein neues Konzept für eine niedersachsenweite Modellierung der Grundwasserversalzung (Küstenversalzung und binnenländische Versalzungen) eingeflossen. Für die Umsetzung dieses Konzeptes stehen derzeit elektromagnetische Daten (HEM) aus dem BGR-Projekt „D-AERO“, sowie transient-elektromagnetische Daten (SkyTEM) aus dem LIAG-Projekt „Flächenhafte Befliegung“, zur Verfügung. Darüber hinaus werden alle relevanten Informationen wie z.B. Bohrungsdaten oder Grundwasser-Beschaffenheitsdaten des Niedersächsischen Boden Informationssystems (NIBIS) bei der Auswertung berücksichtigt.

Zur Validierung der elektromagnetischen Daten und der darauf basierenden Interpretation der Grundwasserversalzungsbereiche, sind „Direct Push Messungen“ geplant. Die daraus gewonnenen Daten sollen als Kalibrierungshilfe für die weitere Verwendung der elektromagnetischen Daten dienen.

Ertl, G. (2012): 3D-Detailmodellierung der Ankumer Höhen – Stauchmoräne mittels SkyTEM-Daten. – Tagung FH-DGG, SDGG, 78: S. 200; Hannover.

Gössmann, N. (2012): Kartierung der Küstenversalzung mit Hilfe geophysikalischer Daten und 3D-Modellierung im Raum Esens (Ostfriesland). – 92 S.; Hannover. – [unveröff. Masterarb. Univ. Hannover]

Klimke, J. (2011): Erstellung eines geologisch-geophysikalischen Untergrundmodells für den Bereich des pleistozänen Quakenbrücker Beckens in Niedersachsen. – 100 S.; Hannover. – [unveröff. Masterarb. Univ. Hannover]

P 5.2

Tracer tomography: Conceptual design and field experiments using heat and uranine as tracers

KENNEDY O. DORO¹, OLAF A. CIRPKA¹, CARSTEN LEVEN¹

¹ Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen

Kontakt: carsten.leven-pfister@uni-tuebingen.de

The successful development of data inversion algorithms and experimental methods for hydraulic tomography has stimulated related research to include other type of data such as transport information derived from tracer testing. Tracer tomography involves by this means and in analogy to hydraulic tomography the sequential injection of a tracer at multiple points in an aquifer while measuring the corresponding spatial and temporal distribution of the tracer concentration at a large number of points. The resulting set of tracer breakthrough curves can subsequently be used in the inversion to further improve the recovery of the spatial structure of the hydraulic conductivity (K) distribution and to reduce the associated uncertainty. While reported studies on tracer tomography have so far focused on numerical or laboratory studies, we present field applications of tracer tomography using heat and uranine dye as tracers.

Our tracer tomographic experiments were conducted at the Lauswiesen test sites of the University of Tübingen. The aquifer at the site consists of a 6 m thick, heterogeneous alluvial sand and gravel deposit with an average K of 3×10^{-3} m/s. We used a forced gradient dipole injection-extraction system with a tracer injection in different levels in the injection well. Temperature sensors were installed at different levels in several observation wells to monitor the spreading of the heat tracer. For the monitoring of the uranine dye transport we used six fluorometer to record the tracer concentration at different depth levels in a multilevel well. A first analysis of the temporal and spatial distribution of temperature and uranine dye breakthrough curves shows aquifer connectivity and preferential flow paths that are in agreement with earlier work at the site. Subsequent inversion of the combined head data and concentration measurements will be presented revealing the spatial structure of the hydraulic conductivity distribution of the aquifer at the test site.

Hochaufgelöste Säulen- und Sandboxexperimente zur Untersuchung kleinskaliger Strömungs- und Transportprozesse

ANDREAS ENGLERT¹, MUSCH THOMAS², GEVERS MARTIN², GEBHARDT PATRIK², GROTH SVEN¹, KERSTING ROLAND¹, GÖKPINAR THORSTEN¹

¹ Hydrogeologie, Ruhr-Universität Bochum

² Elektronische Schaltungstechnik, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: andreas.englert@rub.de

Die Qualität von Risikobewertungen und Sanierungen kontaminierter Standorte sowie die effektive Nutzung von Grundwasser hängt entscheidend vom Verständnis der Strömung und des reaktiven Transports im geologischen Untergrund ab. Hierzu notwendige Untersuchungen an jedem Punkt im Untergrund sind aber nicht durchführbar, daher werden Verfahren benötigt, um Strömungs- und Transportprozesse hochzuskalieren. Da mathematische und numerische Methoden zum Hochskalieren weiterhin eine Herausforderung darstellen und neue Entwicklungen bezüglich solcher Methoden überprüft werden müssen, ist es nötig experimentell zu untersuchen wie Strömung und Transport skalieren. Hierbei ist insbesondere die Hochskalierung von der Poren bis zur Meterskala interessant, da viele numerische Modellierungen auf einer räumlichen Diskretisierung im Meterbereich basieren.

Unser kürzlich entwickeltes Verfahren zum experimentellen Hochskalieren basiert auf der Kombination von Säulen- und Sandboxexperimenten und funktioniert wie folgt: In einem ersten Schritt wird eine kubische Darcyzeile (0,1 m x 0,1 m x 0,1 m) genutzt um experimentell Strömungs- und Transportcharakteristika eines Lockersediments zu bestimmen. Hierbei wird experimentell von der Poren- auf die dm-Skala hochskaliert. In einem zweiten Schritt wird die, mit Sediment gefüllte Darcyzeile eingefroren und anschließend der gefrorene Sedimentwürfel aus der Darcyzeile ausgebaut. In einem dritten Schritt werden neun solcher gefrorener Sedimentwürfel in ein Sandboxmodell eingebaut, so dass ein 0,3 m x 0,3 m x 0,1 m großer Sedimentkörper entsteht. Schließlich, nachdem der Sedimentkörper aufgetaut ist, kann im Sandboxexperiment die Strömung und der Transport durch den Sedimentkörper untersucht werden. Dieses Verfahren erlaubt es somit Strömung und Transport sukzessiv von der Poren auf die dm-Skala und weiter auf die m-Skala hochzuskalieren.

Erste Ergebnisse des kürzlich entwickelten Verfahrens zeigen, dass es möglich ist Sedimentwürfel herzustellen, diese aus der kubischen Darcyzeile zu extrahieren und in ein Sandboxexperiment einzubauen. Unsere momentanen Experimente zielen nun darauf ab, die Charakterisierung von Strömung und Transport in Sedimentwürfeln und daraus geformten Sedimentkörpern zu verbessern. Hierzu wurde ein neues Sensor System zur hochaufgelösten Messung von elektrischen Leitfähigkeiten entwickelt. Das Sensor System besteht aus 13 Miniaturelektroden, welche einerseits die elektrischen Leitfähigkeiten im Ein- und Auslauf der kubischen Darcyzeile und des Sandboxexperiments (ensemble Durchbruchskurven), andererseits aber auch im Inneren eines jeden Sedimentwürfels (lokale Durchbruchskurven) messen können. Die kombinierte Analyse von lokalen und ensemble Durchbruchskurven wird nicht nur eine genaue Hochskalierung von Transport, sondern auch eine genaue Untersuchung der Beziehung zwischen der räumlichen Anordnung von hydraulischen Leitfähigkeiten und dadurch induzierten Transportphänomenen erlauben.

Dreidimensionale Darstellung zweidimensionaler Geoelektrik

ANJA KLEEBBAUM¹

¹ Abteilung Geologie, Universität Bayreuth

Kontakt: Anja.Kleebaum@stmail.uni-bayreuth.de

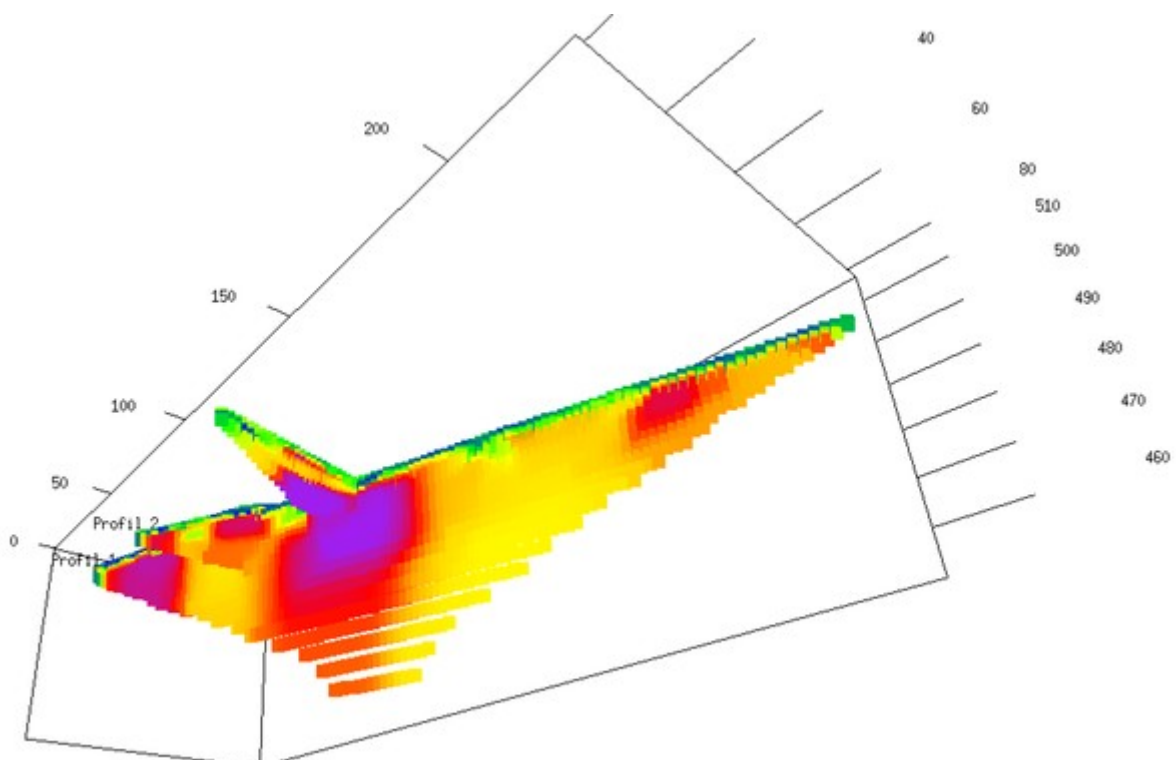
Identifying and localizing geological structures in the subsurface is a scientific task with wide and diverse application potential. Electrical resistivity tomography is an efficient geophysical technique to investigate the spatial extent of such subsurface structures. Furthermore many scientific objectives in geology demand three-dimensional imaging.

3D electrical resistivity tomography provides a technique for surveying three-dimensional structures. Due to enormous amount of time and work load it has still not been established as a standard method. In most cases 2D electrical resistivity tomography is used to obtain two-dimensional subsurface profiles.

This study investigates the possibility of visualizing two-dimensional profiles in three dimensions. Therefore a software has been developed which uses GPS-coordinates for three-dimensional visualization.

The developed method is presented by a case study performed in the northern Franconian Jura. This area contains a filled sinkhole and therefore is of high hydrogeological interest. Sinkholes are in direct contact to karst water and there is no significant filtering or biological self-cleaning. Thus, knowledge of their location and structure is not just import to the danger of collapse but particularly to groundwater protection.

The intersecting profile lines of the 2D electrical resistivity tomography are investigated by the newly developed tool for testing the method.



Ein modulares Multi-Level-Messsystem zur Messung von Grundwasserfließbewegungen

MARC SCHÖTTLER¹, JOACHIM DRIESSEN², FRIEDER ENZMANN², MICHAEL KERSTEN²

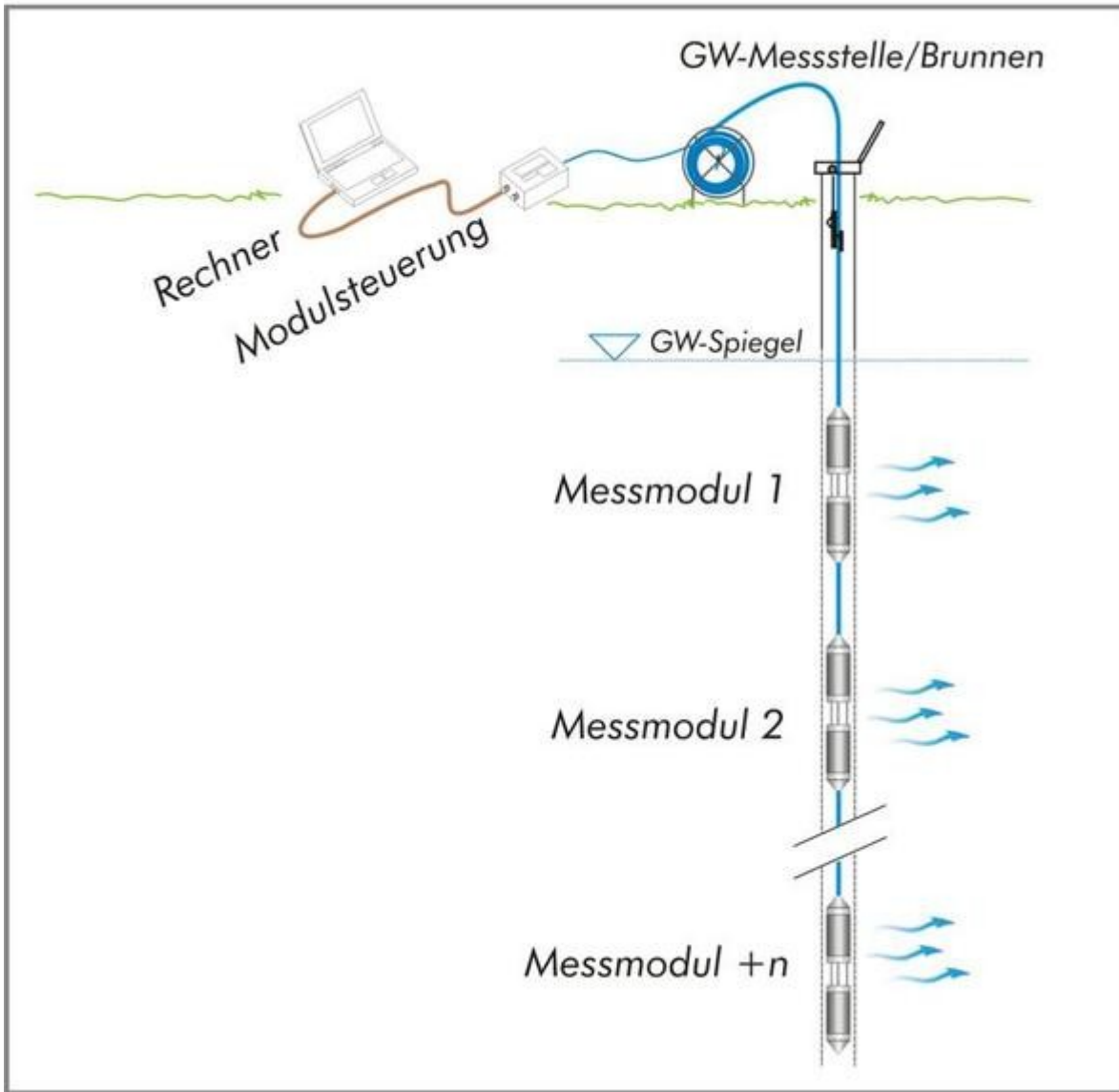
¹ PHREALOG

² Uni Mainz, Inst. f. Geowissenschaften

Kontakt: m.schoettler@phrealog.de

Die Möglichkeit, Grundwasserfließrichtung und –geschwindigkeit im Aquifer aus der horizontalen Grundwasserpassage an Bohrbrunnen abzuleiten, ist von fundamentalem Interesse in der Hydrogeologie. Im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts FLIMSYS (www.flimsys.de) erfolgt die Entwicklung miteinander koppelbarer Messmodule auf Basis des PHREALOG-Messsystems. Mit diesem Messsystem wird der Durchfluss im Brunnenraum optisch über die Vermessung der Driftlaufzeit und -richtung von Feinschwebstoffen, die vom Grundwasser mitgeführt werden, erfasst. Die neuentwickelten Messmodule können zu einem Messstrang aneinandergeschaltet und mit Packern ausgestattet in die Filterstrecke von Grundwassermessstellen eingebaut werden. Der horizontale Grundwasserdurchfluss wird dann zeitgleich in mehreren Tiefen der Filterstrecke erfasst.

Mit Hilfe des Simulationstools PHREASIM wurde das Design der Messzellen auf die Durchflussgeometrie in Grundwassermessstellen abgestimmt und optimiert. Darüber hinaus wurden Voraussetzungen geschaffen, um mit dem Simulationstool PHREASIM die gewonnenen Fließmessdaten stichhaltiger als bisher auszuwerten und interpretieren zu können. Die Messtechnik wurde auf Basis von Simulationsergebnissen zur Erfassung der Fließbewegung an multiplen Messpunkten in der Messzelle erweitert. Die Datenakquisition wurde mit Hilfe spezieller Bauelemente und Softwareroutinen verbessert. Wichtiges Anwendungsgebiet ist die Gewinnung von quantitativen Daten für die Plausibilitätsprüfung und Beweissicherungen von Grundwasserströmungs- und Transportmodellen. Sie ergänzen die Informationen aus konventionellen Methoden wie Grundwasserspiegelmessungen, Pumpversuchen oder Tracerexperimenten. Es wird demonstriert, wie die im Feld gewonnenen Daten mit Hilfe von PHREASIM ausgewertet und interpretiert werden.



Messmodulstrang

6 Groundwater, soil and surface water interactions

Oral Presentations

O 6.1: H19, NW II, 30.05.2014, 11:00-11:20

The soil-groundwater-stream continuum: Measurements and implications

GUNNAR LISCHIED¹, CHRISTOPH MERZ¹, PAVEL KRÁM²

¹ Institut für Landschaftswasserhaushalt, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

² Czech Geological Survey

Kontakt: lischeid@zalf.de

Rainwater infiltrates into the soil, seeps down to the groundwater, and eventually discharges into streams or lakes. The hydrological soil-groundwater-stream continuum is reproduced in numerous models. Experimental field work and data analysis, however, is usually organised within different disciplines and hardly considers the continuum approach. Correspondingly there is a lack of adequate approaches to quantitatively determine the hydrological continuum.

The approach presented here is based on the assumption that any observed change in soil hydrological, groundwater head or discharge time series is due to a response to an input signal (rainfall, snow melt) into the hydrological system. It is usually to a certain degree related to mass transport, although pressure propagation might prevail in confined aquifers. Catchments as soil-groundwater-stream continuums act as low-pass filters that damp and delay the input signal. It could be shown that the observed signals in either compartment can be regarded as a superposition of the signals of the respective flowpaths.

That transformation of the input signal along its way through the soil-groundwater-stream continuum can be determined quantitatively using a principal component analysis of the respective time series. This measure can then be used, without requiring application of a numerical model, to

- Determine first order controls of the observed dynamics;
- To assess the effects of structural heterogeneities on the observed dynamics;
- To determine mean “representative” behaviour at a larger scale;
- To better understand diverging trends;
- To identify additional impacts on the observed dynamics, e.g., groundwater withdrawal.

This information can then be used to better constrain hydrological and hydrogeological models. Thus, groundwater or discharge data can be used to reduce the uncertainty or noise of soil hydrological data and vice versa. Examples will be given from different catchments both in mountainous and lowland areas.

Flow processes in headwater catchment using a combined hydrological, hydrochemical and isotopic approach

MARTIN ŠANDA¹, TOMÁŠ VITVAR¹, MILENA CÍSLEROVÁ¹, TOMÁŠ VOGEL¹, JAKUB JANKOVEC¹

¹ Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague

Kontakt: martin.sanda@fsv.cvut.cz

The subsurface water contribution to streamflow in small mountainous catchments dominated by rapid discharge variations is still poorly understood. To-date it has been attributed to a more or less delayed baseflow transmitted through preferential flow pathways. Combined hydrochemical and isotopic approach is tested to evaluate the sources of the groundwater in these catchments distinguishing its presumably younger and older components in stream runoff (Šanda et al., 2013).

In the catchment Uhlířská (1.78 km²) and in other nearby catchments in the Jizera Mountains, northern Czech Republic, the measurements of DOC, silica, stable hydrogen and oxygen isotopes, tritium, noble gases and CFC were conducted over the last five years in a set of sampling points. Samples in precipitation streamflow, baseflow, eventflow, soil lysimeters, subsurface soil trench and perennial groundwater boreholes down to 30 m depth were taken.

The results of analyses show that the baseflow contributes at about 67% to the streamflow and has a mean residence time of 12.3 months. Approximately 150-300 mm (10-20%) of annual precipitation were attributed to deep percolation. The baseflow is formed by soil water drainage in weathered layers on hillslopes during rainfall and snowmelt periods, in combination with the groundwater discharge from the valley deluviofluvial granitic sediments where the prevailing source is the infiltration of snowmelt water. Analysis of 20 runoff events and their hysteretic patterns demonstrated that the stormflow water has the residence time of about 4 months and is generated by the preferential flow on hillslopes together with the soil matrix drainage. The stormflow and snowmelt water flowing via preferential pathways of upslope mineral soils pushes the pre-event groundwater through the pathways in wetlands in direction to the stream, and the wetland can be therefore considered as groundwater-supplied. The groundwater apparent age obtained from ³He/³H and CFC data seems to result as a combination of the 70% admixture of a linear-piston flow pattern of about 80 years old, and the 30% admixture of exponentially distributed flow pattern with the mean residence time of about 4 years. This mechanism seems to be typical for groundwater-supplied headwater catchments of the Jizera Mountains. The isotopic and hydrochemical patterns of the headwaters are observed along the main stream course through the lowland. The multi-tracer approach allowed distinguishing different origins of groundwater. It demonstrated its importance on the runoff formation regarding mass transport.

The research is supported by Czech Science Foundation 205/09/0831, International Atomic Energy Agency, CRP contract no. 16335, and the EU program Ziel3/Cíl3 no. 100114993.

Šanda, M. & Vitvar, T. & Kulasová, A. & Jankovec, J. & Císlarová, M. 2013. Runoff formation in a humid, temperate headwater catchment using a combined hydrological, hydrochemical and isotopic approach (Jizera Mountains, Czech Republic). *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp.9847

Auswirkungen einer über 10-jährigen Vernässung eines Bruchwalds mit gereinigtem Abwasser

FLORIAN JENN¹, FRANK KOINZER¹, HANS-JÜRGEN VOIGT¹

¹ LS Umweltgeologie, BTU Cottbus

Kontakt: jennf@tu-cottbus.de

In einem Teilprojekt von „INKA BB“ (Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg-Berlin) wird ein seit 2000 mit gereinigtem Abwasser wiedervernässter Erlenbruchwald hinsichtlich seines Einflusses auf das Grundwasser untersucht. Bei einer vorangehenden bodenkundlichen und geochemischen Bewertung der dortigen Torfe (Jenn 2008) festgestellt, daß die Degradierung nicht vollständig aufgehalten wurde, es aber immerhin zu einer Verbesserung des Zustandes kam. Es war aber auch eine fortgesetzte Freisetzung von Nährstoffen, begünstigt durch die teilweise starken Wasserstandsschwankungen, zu befürchten. In der vorliegenden Untersuchung sollte darum die Wechselwirkung Boden – Vernässungswasser – Grundwasser – Oberflächenwasser betrachtet werden. Das zu Beginn der Vernässung errichtete Messnetz (Möller & Kade 2004) war größtenteils noch in einsatzfähigem Zustand, wurde aber seit 2001 nicht mehr betreut. Es liegen deswegen keine durchgehenden Zeitreihen vor, sondern es können nur damaliger und jetziger Zustand verglichen werden. Hauptsächlich im flachen Grundwasser konnten Veränderungen beobachtet werden:

Die Hauptionenverhältnisse bewegten sich innerhalb weniger als einem Jahr von einer Ca^{2+} - SO_4^{2-} - HCO_3^- -dominierten Zusammensetzung hin zu einem stärkeren Anteil Na^+ und K^+ , der auch dem Abwasser entspricht. Der Effekt fiel in den Randbereichen aber nur gering aus. Gegenwärtig hat der Na-K-Einfluss nur wenig zugenommen, jedoch haben sich die Anionenverhältnisse z.T. Richtung HCO_3^- verschoben. Dies rührt aus dem Abwasser aber auch den zersetzten Torfen (Abbau organischer Verbindungen) her. Die tieferen Messstellen zeigen auch nach über 10 Jahren keine oder nur geringe (in direkter Nachbarschaft zum Abwasserkanal) Einfluss durch die Vernässung. Dies erklärt sich durch die hydrodynamische Position im Entlastungsgebiet.

Die Stickstoffkonzentrationen im Grundwasser unter dem zentralen Bereich des Bruchwalds haben seit Beginn der Vernässung abgenommen (z.B. TN von $\approx 2,0$ auf $\approx 1,2$ mg/l). Am Waldrand (von Vernässung kaum erreicht, darum trocken und weiterhin Torfschwund) sind sie weiterhin hoch. Im Zuleitungsnähe blieben sie im wesentlichen unverändert und z.T. überraschend niedrig (um 0,5mg/l). In den Entwässerungsgräben sind die Konzentrationen mit 1 bis 2mg/l, wie auch in weiter entfernten Drainagen, deutlich niedriger als in den Zuleitungsbereichen (6 bis 8mg/l). Die Vernässung hat also zu keiner Verschlechterung, in Teilen sogar zu einer Verbesserung, der N-Belastung von Grund- und Oberflächenwasser geführt.

Erwartungsgemäß kam es durch die Vernässung zu einer Freisetzung von Phosphor (Reduktion der Fe(III)-Verbindungen, an denen P sorbiert ist) insbesondere im Winter: o- PO_4 bis 0,12mg/l unter den stärker vernässten Bereichen, bis 0,08mg/l unter dem Waldrand, um 0,4 in den Zuleitungs- und 0,1 bis 0,3mg/l in den Entwässerungsgräben. Dieser schädliche Einfluss sollte durch eine Verringerung der Wasserstandsschwankungen vermindert werden.

Jenn, F. (2008): Geochemische und bodenphysikalische Bewertung der Durchleitung von behandeltem Abwasser durch degradierte Niedermoorstandorte. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG, 21.–25.05.08, Göttingen.

Möller, K. & Kade, N. (2004): Behandeltes Abwasser als Ressource. Schriftenreihe Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Band 3.

O 6.4: H19, NW II, 30.05.2014, 12:00-12:20

The Lowland Groundwater Surface water Interaction model: a new runoff model for high flow and low flow conditions

*DIMMIE HENDRIKS*¹, *MARIJN KUIJPER*¹

¹ Deltares

Kontakt: Dimmie.Hendriks@deltares.nl

A main challenge in forecasting stream discharge is to develop a model that performs well in both high flow and low flow conditions. Until recently, the interaction of groundwater and surface water was either modeled in a simplified way disregarding the changing groundwater storage capacity, or in rather complex ways involving time-consuming coupling of groundwater and surface water models. The latter can be very useful when one aims to understand the flow processes, but is not feasible in hourly runoff simulations.

The Lowland Groundwater Surface water Interaction model (LGSi), is an innovative modeling concept that facilitates both (Van de Velde et al., 2009). LGSi uses the changes in groundwater storage through time, because these influence not only a delay in rainfall discharge, but also the amount of active rivers and ditches in the drainage network. LGSi is unique in involving this non-linear behavior of the drainage system in its discharge calculation by capturing the dynamics of groundwater-surface water interaction in the distribution of groundwater depths. For each time step this distribution is drawn from an existing, numerical groundwater model, and the active discharge system is determined by the part of the distribution that represents groundwater levels above drainage level. As a result, both the occurrence and the amount of groundwater discharge to ditches and streams are calculated dynamically, explicitly taking into account spatial variations within the catchment.

Results in the Drentsche Aa catchment, the Leijgraaf catchment, and the Dinkel catchment (the Netherlands), showed that in average and high discharge periods LGSi reaches similar results as traditional in rainfall-runoff models (Wanders et al., 2011). However, its benefit lies in the simulation of low flows. Especially low groundwater levels and resulting low discharges are simulated very well with LGSi, as it takes into account the spatially distributed changes in groundwater storage. Recently, the LGSi model concept was added to the Rainfall-runoff model suite of Sobek. The next step is to apply LGSi in a DELFT FEWS decision support system, making LGSi available for early warning on floods and droughts.

Van der Velde, Y., G. H. De Rooij, et al. (2009). "Catchment-scale non-linear groundwater-surface water interactions in densely drained lowland catchments." *Hydrology and Earth System Sciences* 13: 1867-1885

Wanders, N., D.M.D. Hendriks and Y. van der Velde (2011) Combined groundwater – surface water modeling with a lumped hydrological model. Deltares-report 1203833-000-BGS-0001, Utrecht.

Coupling of a surface water- and groundwater flow model to compute bank storage effects in wetlands along the Elbe-Havel Channel on different grid resolutions

PETER VERMEULEN¹, HEINZ THEIS², BERNHARD BECKER³

¹ **Subsurface and Groundwater Systems, Deltares**

² **Referat Grundwasser, Geologie und Gewässermorphologie, Bundesanstalt für Gewässerkunde**

³ **Inland Water Systems, Deltares**

Kontakt: peter.vermeulen@deltares.nl

The effects of climate change upon surface water bodies, and subsequently upon the groundwater regime, will be of increasing importance in connection with the prediction of flow and quality issues. We'll have to expect increased dynamics of climate change and presumably also higher environmental impact consequences. One major related issue concerns the flooding behaviour of wetlands. For an integrative approach a coupling of different environmental compartments are found to be necessary. In the long-term application, we will need to have a common look at the sediment budget, hydro morphology, and the connectivity of groundwater bodies to surface water. In this paper we describe a first step in this approach; an offline coupling between a regional surface water model and a regional groundwater flow model for the Elbe-Havel Channel area in Germany. In this particular situation it is sufficient to use an offline coupling since the impact of leakage into the groundwater on the water level in the Elbe-Havel Channel is neglectable. In contrast, groundwater levels depend strongly on the water levels in the Elbe-Havel Channel. Incorporating of a high-resolution water levels leads to an improved calibration of the groundwater flow model. It also helps to identify errors in conceptual models, e.g. implications by missing river bank storage effects. The findings are expected to improve maintenance and management of the federal navigable waterways in the Elbe-Havel system. Furthermore, the findings will help to improve the surface water model as well.

We use the capability of iMOD to accurately describe the bank storage effects in the wetlands along the Elbe-Havel Channel on a fine scale. Herefore, iMOD computes the time-dependent surface-subsurface water interaction based on surface water model simulation results with Sobek on the resolution of the groundwater model. iMOD stands for Interactive MODeling and facilitates an easy-to-use modelling environment to engage stakeholders and stimulate participation in active groundwater management. Another difference compared to conventional modelling tools, is the generic geo-referenced data structure that may contain files with unequal resolutions and that can be used to generate sub-models at different scales and resolutions applying up- and downscaling concepts. The modelling environment is therefore capable of simulating different scenarios on different areas of interest and scales, depending on the desired accuracy and/or time constraints.

Modellierung des Grundwasser-Oberflächenwasseraustausches und dessen Auswirkungen auf die Grundwasserqualität

ULI MAIER¹, VICTORIA WIESNER¹, NICO TRAUTH¹, JAN FLECKENSTEIN¹

¹ Department Hydrogeologie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Kontakt: ulrich.maier@ufz.de

Hydrogeochemische Interaktionen auf der Einzugsgebietsskala stellen nach wie vor ein großes Problem für Vorhersagen der Wasserqualität und deren numerische Modellierung dar. Aufgrund des Rechenaufwandes und der im Feldmaßstab mit Unsicherheit behafteten Parametrisierung physikalisch basierter Modell besteht Forschungsbedarf zur Gewinnung allgemeingültiger Erkenntnisse.

Im Einzugsgebiet der Selke, eines Nebenflusses der Bode im Abstrom des Harzes, werden deshalb Wasserqualität und Hydrologie in großem und kleinen Maßstabe durch Felduntersuchungen und numerische Modellierung untersucht. Im Gelände wurde ein Meßfeld zur Untersuchung von Hydraulik und Wasserqualität eingerichtet und für das Gebiet ein numerisches Modell aufgebaut. Das im Modell berücksichtigte Untersuchungsgebiet umfaßt in etwa die Fläche von zwei Quadratkilometern mit Flußlauf, Auensedimenten und Hangbereichen. Wasserstände und Wassersättigungen im Oberflächenwasser, Grundwasser und ungesättigter Zone wurden für einen stationären Zustand sowie einen transienten, aus Klimadaten getriebenen Jahreslauf simuliert.

Von besonderem Interesse sind im Modell beobachtete Bereiche starker hydraulischer wie auch geochemischer Interaktion, z.B. eines intensiven Überganges zwischen Oberflächen- und Grundwasser in Überschwemmungsflächen oder der Hyporheischen Zone. Diese lassen interessante Feldbeobachtungen erwarten und wurden bevorzugt mit Meßinstrumenten ausgestattet. Diskutiert werden solche Zonen des Übergangs („hot spots“) des Wasserflusses zwischen Umweltkompartimenten, und Verweilzeitenverteilungen aus Particle tracking Simulationen sowie dispersiven Ansätzen. Ferner wird ein reaktives Stofftransportmodell für die Nitratreduktion im Gebiet vorgestellt. Dieses kann mit gemessenen Konzentrationsdaten aus dem Gelände verglichen werden.

Temperaturabhängiger Abbau abwasserbürtiger Spurenstoffe in der hyporheischen Zone

VICTORIA BURKE¹, JANEK GRESKOWIAK¹, THOMAS TAUTE², REBECCA BREMERMANN², TINA ASMUS²,
GUDRUN MASSMANN²

¹ AG Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

² Freie Universität Berlin

Kontakt: gudrun.massmann@uni-oldenburg.de

Reinigungsprozesse während der Uferfiltration sind für halbgeschlossene Wasserkreisläufe, welche vor allem in urbanen Ballungsräumen Anwendung finden, von großer Bedeutung. In halbgeschlossenen Wasserkreisläufen gelangt gereinigtes Abwasser in die Oberflächengewässer

und wird, teils kontaminiert mit schwer abbaubaren Rückständen aus der Abwasseraufbereitung, über künstliche Grundwasseranreicherungsprozesse zurück in den Wasserkreislauf geführt. Nachweislich erfolgt eine Verbesserung der Wasserqualität vor allem während der ersten Meter nach der Infiltration (z.B. Jüttner, 1999), was die Bedeutung dieser hochreaktiven hyporheischen Zone verdeutlicht. Für den Abbau organischer Spurenstoffe bei der Untergrundpassage sind generell sehr dynamische, interagierende Prozesse verantwortlich und, wie Untersuchungen an Feldstandorten ergaben, spielen dabei sowohl die Temperatur als auch die vorherrschenden Redoxbedingungen eine wesentliche Rolle (z.B. Greskowiak et al., 2006).

Inhalt der vorliegenden Studie sind Säulenversuche zur Untersuchung des temperaturabhängigen Abbaus abwasserbürtiger Spurenstoffe innerhalb der hyporheischen Zone. Dazu wurde ein ungestörter Sedimentkern von 1,2 m Länge aus der Infiltrationszone eines intensiv genutzten Uferfiltrationsstandortes in Berlin entnommen und unter kontrollierten Laborbedingungen mit abwasserbelastetem Oberflächenwasser vom Feldstandort beaufschlagt. Die Installation von Rhizomen entlang des Kerns ermöglichte eine tiefenorientierte Probenahme und somit das Monitoring der hydrochemischen Bedingungen und Spurenstoffkonzentrationen entlang des Fließpfades. Um saisonale Temperaturschwankungen zu simulieren, wurden sowohl bei 20°C als auch bei 6°C Versuche durchgeführt. Im Fokus standen 10 Substanzen aus den Gruppen der Pharmazeutika und Industriechemikalien, die zuvor im Oberflächenwasser des untersuchten Feldstandortes als omnipräsent identifiziert wurden. Ziel war es, den Einfluss des Parameters Temperatur auf den Abbau organischer Spurenstoffe zu untersuchen.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Temperatur einen wesentlichen Einfluss auf die vorherrschenden hydrochemischen Bedingungen während der Infiltration, insbesondere auf das vorherrschende Redoxmilieu, hat. Während bei 6°C der gesamte Fließpfad durch oxische Bedingungen charakterisiert war, bildete sich unter 20°C eine ausgeprägte Redoxzonierung aus. Hinsichtlich des Spurenstoffabbaus wurde für eine Reihe der untersuchten Substanzen sowohl eine Abhängigkeit von der Temperatur als auch von den Redoxbedingungen identifiziert.

Greskowiak J, Prommer H, Massmann G, Nuttmann G (2006): Modeling seasonal redox dynamics and the corresponding fate of the pharmaceutical residue phenazone during artificial recharge of groundwater. *Environmental Science & Technology* 40: 6615-6621.

Jüttner F. (1999): Efficacy of bank filtration for the removal of fragrance compounds and aromatic hydrocarbons. *Water Science and Technology* 40: 123-128.

O 6.8: H19, NW II, 30.05.2014, 14:20-14:40

Development of Ammonium Concentrations at a Riverbank Filtration Site in Delhi (India) – Water-Sediment Interactions from Infiltration to Production

*MAIKE GRÖSCHKE*¹, *THERESA FROMMEN*², *GESCHE GRÜTZMACHER*³, *MICHAEL SCHNEIDER*²

¹ **Kompetenzzentrum Wasser Berlin/ Freie Universität Berlin**

² **Freie Universität Berlin**

³ **Kompetenzzentrum Wasser Berlin**

Kontakt: m.groeschke@fu-berlin.de

The Yamuna River in Delhi is highly influenced by partially treated sewage water. At a field site in central Delhi, several large horizontal filter wells (Raney wells) were constructed in the 1970s, pumping water from the alluvial aquifer. Due to losing stream conditions they may draw high

shares of bank filtrate, although travel times from the river to the production wells were shown to be high (> 1.7 years). Influenced by monsoon-driven strong variations in precipitation and water level, the hydraulic and hydrochemical conditions in the alluvial aquifer are highly transient. Measured ammonium and dissolved oxygen (DO) concentrations in the river water vary between 2.5-20 mg/L NH_4^+ and 0.03-5.5 mg/L DO throughout the year as the Himalayan snow melt and the monsoon rains dilute the otherwise oxygen depleted and ammonium-rich river water during the summer months (May-September). Flood events regularly change the flow regime (travel distance and flow velocity) and fluctuating groundwater levels most likely lead to changing infiltration conditions throughout the year. After nearly 40 years of pumping, the ammonium plume has moved substantially far into the aquifer and ammonium concentrations of up to 27.5 mg/L were measured in the groundwater at a distance of 500 m to the river. In order to understand the dominating processes regarding the transport of ammonium along a main flow path (from infiltration to production well), column experiments with aquifer material were conducted. Nitrogen mass balances reveal that it will take over 25 years until ammonium depleted water reaches the first production well, once river water quality improves. A 1D reactive transport model with PHREEQC is constructed to take into account the highly varying source water and infiltration conditions. This will contribute to estimating future ammonium concentrations for different scenarios regarding the source water quality and well operation. This is necessary to evaluate the suitability for future drinking water production and to plan appropriate treatment options.

O 6.9: H19, NW II, 30.05.2014, 14:40-15:00

Abgrenzung von Belastungsschwerpunkten mit Uran im Grundwasser in Südbayern

THOMAS DEMMEL¹, THOMAS R. RÜDE¹, MICHAEL WROBEL²

¹ RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Hydrogeologie, Lochnerstr. 4-20, D-52064 Aachen

² Bayerisches Landesamt für Umwelt, Ref. 93 Grundwasserschutz, Hans-Högn-Straße 12, D-95030 Hof/Saale

Kontakt: demmel@hydro.rwth-aachen.de

Im Nachgang zu dem vor zwei Jahren vorgestellten Projekt „Verteilung und Ursachen erhöhter Uran-Konzentrationen in quartärem Grundwasser Südbayerns“ (Rüde et al. 2012), in dem relevante Mobilisierungs- und Immobilisierungsprozesse sowie Verlagerungs- und Akkumulationsprozesse für Uran beispielhaft im Lechtal bei Augsburg untersucht wurden, erfolgte eine Ausweitung der Betrachtung hinsichtlich der Übertragbarkeit der im Lechtal ermittelten Prozesse auf die weiteren bekannten Belastungsschwerpunkte in Südbayern: Unteres Isartal, Donaumoos bei Ingolstadt und Rosenheimer Becken.

Als Datenbasis dienten die am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) vorgehaltenen Analysen von Grundwässern und Oberflächengewässern aus dem südbayerischen Raum (ca. 8000 Datensätze). Für die zu charakterisierenden Belastungsschwerpunkte konnte die Datenbasis in einer Feldkampagne erweitert werden.

Allen Belastungsschwerpunkten gemein ist die räumliche Nähe zu Niedermooren, die bereits im Lechtal als sekundäre, aber mengenmäßig dominierende, lokale U-Quellen identifiziert werden konnten. Der Zustrom aus der Oberen Süßwassermolasse (OSM) und die dort bekannten organikreichen Einschaltungen (v.a. Braunkohleflöze mit bis zu $50 \mu\text{g g}^{-1}$ U) sind als Indiz für eine Funktion der OSM als primäre U-Quelle in Hinsicht auf das Untersuchungsgebiet zu sehen. Im

Unteren Isartal und im Donaumoos bei Ingolstadt deutet die (hydro-)geologische Situation auf vergleichbare Akkumulationsprozesse in Niedermooren hin.

Im Rosenheimer Becken ist die Struktur der U-Quellen aber auch der U-Senken zu differenzieren. Die mit den Beckentonen einhergehende große Verbreitung von vielen einzelnen Moorbereichen, die v.a. im Süden zum Teil als Hochmoore vorliegen und damit nicht als Uransenken zu betrachten sind, sind teilweise von Niedermooren umsäumt bzw. unterlagert. Die Geländemorphologie gliedert das Becken in verschiedene, kleinräumige Einzugsgebiete, wodurch z.B. im südlichen Teil auch alpine Gesteine (z.B. organikreicher Plattenkalk) als U-Quelle in Frage kommen.

Ein weiterer Aspekt der U-Quellfunktion ist in der Moorgröße zu sehen. Aus dem Donaumoos als flächenmäßig größtes Niedermoor Bayerns, sind nur vereinzelt erhöhte Urankonzentrationen im unterlagernden Grundwasser bekannt. Dies ist möglicherweise als Folge einer Redoxzonierung im Grundwasser zu sehen, so dass im Laufe der Fließstrecke durch Aufzehrung von DOC stark reduzierende Bedingungen entstehen, die zu einer Immobilisierung von Uran aus dem Grundwasser führen. Eine umfangreiche Auswertung von Bodenproben, Grundwasser- und Oberflächengewässeranalysen soll hier zur Klärung beitragen.

Aus dem Gesamtdatensatz der U-Gehalte im Grundwasser wurde eine Übersichtskarte erstellt, die neben den genannten Belastungsschwerpunkten auch weitere, kleinräumigere Grundwasserbelastungen aufzeigt. Die hydrogeologischen Grobeinheiten Südbayerns werden hinsichtlich der U-Gehalte statistisch charakterisiert und detailliert beschrieben.

Rüde, T.R., Banning, A., Demmel, T., Wrobel, M. (2012): Verteilung und Ursachen erhöhter Uran-Konzentrationen in quartärem Grundwasser Südbayerns - In: *Tagung der Fachsektion Hydrogeologie (FH-DGG)*, 16.-20.05.2012, Dresden.

O 6.10: H19, NW II, 30.05.2014, 15:00-15:20

Identification of surface water infiltration in a shallow unconfined aquifer using artificial sweeteners as waste water markers

ANDREA BICHLER¹, CHRISTIAN MUELLEGGER¹, THILO HOFMANN¹

¹ Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien

Kontakt: andrea.bichler@univie.ac.at

In shallow or unconfined aquifers infiltration of contaminated river water might be a major threat to ground water quality. Thus, the identification of hydrological pathways in coupled surface- and groundwater systems is of paramount importance to ensure water quality.

Tracers have the potential to elucidate both, sources and flow patterns, and are widely applied in hydrological flow studies. Besides conventional tracers (Cl^- , SO_4^{2-} , stable water isotopes $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, etc.) only recently another class of tracers are emerging: trace contaminants as waste water markers. Compounds, such as artificial sweeteners, might enter the aquatic environment via discharge of waste water treatment plants and are ubiquitously found in sewage water receiving waters.

The hereby presented field study aims at the identification of infiltration areas and the quantitative assessment of river bank filtrate using conventional tracers and artificial sweeteners (e.g. acesulfame ACE) as waste water markers. The investigated aquifer is located in a mesoscale

alpine head water catchment and used for drinking water production. It is hypothesized that a large proportion of the groundwater flux originates from bank filtrate of a nearby losing stream.

Water sampling campaigns in March and July 2012 confirmed the occurrence of artificial sweeteners at the investigated site. Water samples are classified with respect to their hydrochemical and isotopic composition using hierarchical clustering, identifying two predominant types of water in the aquifer: (1) groundwater influenced by bank filtrate and (2) groundwater originating from recharge. The mixing proportions of river water and spring water, representing bank filtrate and groundwater recharge, respectively, are determined by end member mixing analysis. The presence of ACE in more than 80% of the observation wells indicate considerable influence of sewage water loaded surface water throughout the aquifer, thus underlining the results obtained by cluster and mixing analysis. Moreover, it is shown that the combination of physicochemical parameters and artificial sweeteners allow for a clear delineation of infiltration areas in the investigated aquifer system.

O 6.11: H19, NW II, 30.05.2014, 15:20-15:40

Der künstliche Süßstoff Acesulfam als Tracer für Oberflächenwassereinfluss im Uferfiltrat

CHRISTIAN SKARK¹, FLORIAN R. STORCK², FRANK REMMLER¹, KIRSTIN RICHTER¹, HEINZ-JÜRGEN BRAUCH², NINETTE ZULLEI-SEIBERT¹

¹ Institut für Wasserforschung GmbH

² TZW DVGW-Technologiezentrum Wasser

Kontakt: skark@ifw-dortmund.de

Künstliche Süßstoffe, wie Acesulfam (ACE), werden in vielfältigen Formen vom Menschen vor allem als Zusatzstoff in Erfrischungsgetränken konsumiert und nicht metabolisiert wieder ausgeschieden. In der Abwasserbehandlung wird ACE nur wenig vermindert. Entsprechend wurden im Oberflächenwasser ACE-Konzentrationen bis zu 10 µg/L nachgewiesen. Diese Substanz hat sich unter aeroben Milieubedingungen als sehr stabil erwiesen. Fraglich bleibt die Beständigkeit der Verbindung unter geringer Sauerstoffverfügbarkeit. Der Stoff ist durch eine hohe Wasserlöslichkeit und eine niedrige Sorptionsneigung gekennzeichnet. Sein verbreitetes Vorkommen im Abwasser-beeinflussten Oberflächenwasser sowie seine Persistenz weisen auf eine Eignung als Tracer-Substanz hin. Dieses Potential wurde in Laborversuchen näher charakterisiert.

In Batchversuchen mit verschiedenen Boden- und Sedimentmaterialien wurde das Sorptionsvermögen untersucht. Dabei konnte weder eine Hintergrundbelastung der untersuchten Materialien noch eine Sorption von ACE am Feststoff beobachtet werden. In standardisierten Kleinfiltersversuchen wurde das aerobe Abbauverhalten in verschiedenen wässrigen Matrices betrachtet. Weder mit Boden- noch mit Kompost-Extrakten gelang es einen Abbau nachzuweisen.

In mehreren Säulenversuchen wurde unter verschiedenen Redoxbedingungen (aerob-anoxisch) das Verhalten weiter betrachtet. Die mit Aquifermaterial gefüllten Glas-Säulen wurden von aerobem und anoxischem Grundwasser durchströmt.

- Zunächst wurden die Konzentrationen von ACE im Zu- und Ablauf der Säulen über mehrere Wochenperioden verglichen. Es wurden keine signifikanten

- Konzentrationsunterschiede gefunden.
- Weiterhin wurde die Entwicklung der ACE-Konzentration nach einer Stoßinjektion verfolgt. Bei mittleren Verweilzeiten (MVZ) in den Säulen von ca. 1 - 2 Stunden (anoxisch/aerob) konnten für ACE Wiederfindungsraten zwischen 83 % (anoxisch) und 95 % (aerob) bestimmt werden. Die Durchbruchkurven für ACE ähnelten der Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit (ELF) nach dem NaCl-Zusatz als Tracer in einem Vorversuch.
- Schließlich wurde der Konzentrationsverlauf von ACE und der ELF (NaCl-Dotierung) nach einer längeren, gleichzeitigen Dotierungsphase nachvollzogen. Bei MVZ um 28 Stunden zeigten die Entwicklung der ELF und der ACE-Konzentration wiederum ein ähnliches Verhalten. Die Wiederfindungsraten betragen zwischen 98 und 100 % (ELF) und 93 und 94 % (ACE).

Die Ergebnisse bestätigen die geringe Sorptionsneigung und große Persistenz von ACE unter aeroben und anoxischen Redoxbedingungen. Dies scheint gleichzeitig auf die Eignung des Stoffes als Tracersubstanz für hydrologische Zwecke hinzuweisen.

O 6.12: H19, NW II, 30.05.2014, 15:40-16:00

Outgassing of carbon dioxide from a karst river – insights into the carbon cycle from stable isotopes of dissolved inorganic carbon

ROBERT VAN GELDERN¹, PETER SCHULTE¹, MICHAEL MADER¹, JOHANNES A.C. BARTH¹

¹ GeoZentrum Nordbayern, Universität Erlangen-Nürnberg

Kontakt: robert.van.geldern@fau.de

The Franconian Alp in Northern Bavaria is a karst terrain formed by upper Jurassic limestone underlain by sandstones and shale. The area is drained by several small to medium size streams. To examine the carbon turnover and carbon flux of such river systems the Wiesent river catchment was investigated by major ion analysis and standard hydrological field parameters together with water stable isotope analysis ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$) and carbon stable isotopes of the dissolved inorganic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$). Sampling was performed regularly from February to November to cover all season.

Except temperature, the river source shows constant values for all parameters that indicate feeding by groundwater from a large karst water body. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values of the river water are almost constant over the entire 65 km course of the river. They show almost no seasonal response with $\delta^{18}\text{O}$ values between -9.0 and -9.5‰. The influx of surface water either via small tributaries, surface run-off or soil water seems to play a minor role. Comparison with the local meteoric water line (LMWL) clearly indicates that the river is fed by modern meteoric recharge.

The total DIC concentration declines by ~2.3mmol/L from the source to the confluence with the Regnitz river. The pH increases from 7.2 to 8.4 at which the largest rise of ~1 pH-unit occurs during the first 5 km downstream. Calculation of the $p\text{CO}_2$ from field-determined pH and temperature show large excess in CO_2 with respect to the atmospheric concentration of 380 ppmV (Fig. 1). This indicates that loss of carbon is caused by degassing of CO_2 from the river and mainly occurs in the headwaters of the stream where $p\text{CO}_2$ quickly drops from around 20.000 to 3000 ppmV. This

change in DIC concentration is accompanied by an increase of +2‰ of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values that is caused by a shift in the relative distribution of the carbon species within the river water.

Chemical and isotope analyses of the river revealed a ground water dominated system with constant gaining conditions (i.e. water from river bank flows into the river) where tributaries and surface water influences are only of minor importance. High excess concentrations of $p\text{CO}_2$ at the source cause a rapid degassing within the first few km of the river course. The observed $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ changes are consequently related to CO_2 loss from the river to the atmosphere and not caused by atmospheric CO_2 exchange.

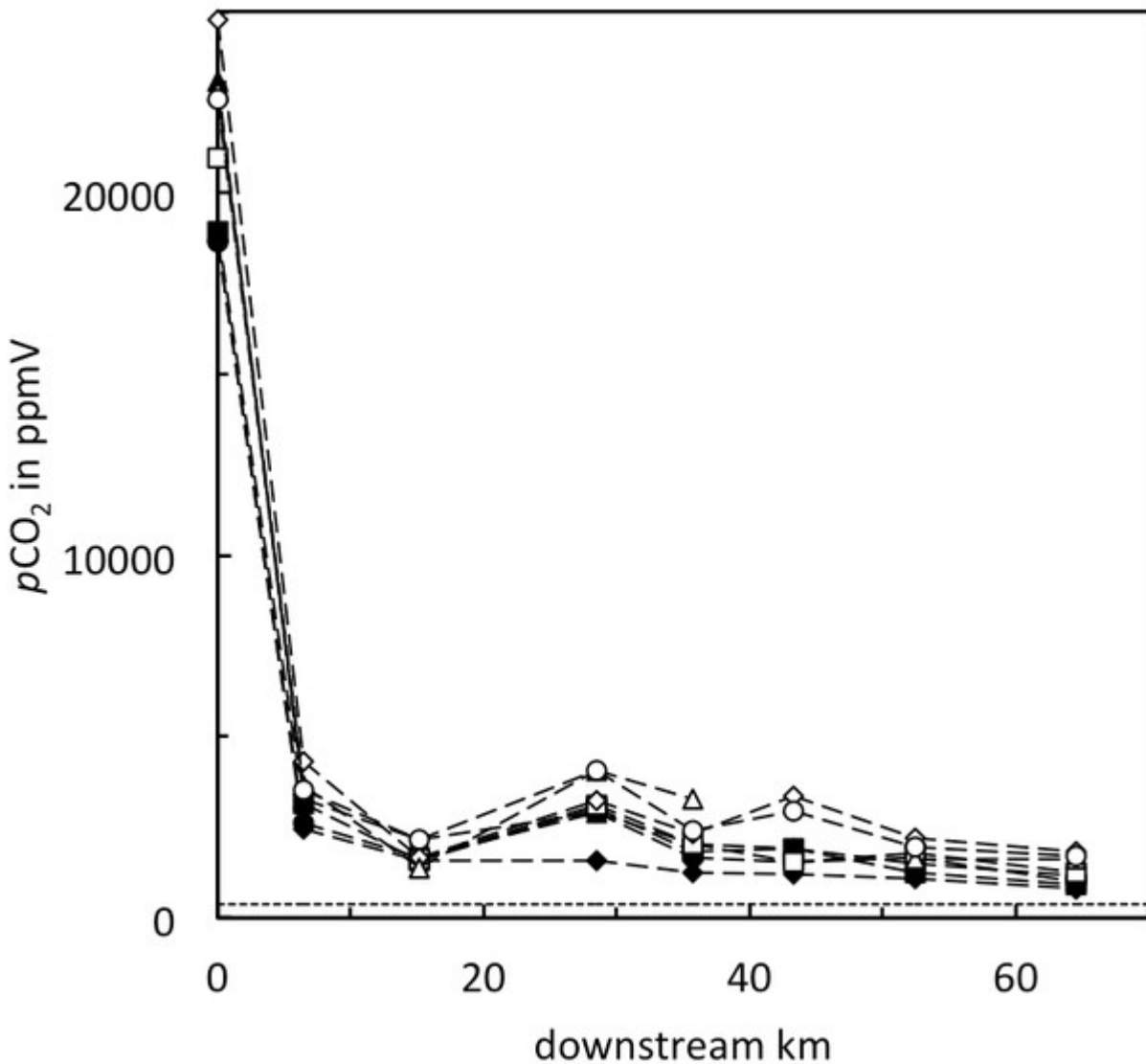


Figure 1: Downstream evolution of $p\text{CO}_2$ calculated from Henry's law, $c(\text{DIC})$, T and pH . Dashed line at 380 ppmV is atmospheric $p\text{CO}_2$. Different symbols correspond to different sampling dates.

Bestimmung von vertikalen Grundwasser-Oberflächenwasseraustauschraten mittels Temperaturzeitreihenanalyse am Beispiel des Slootbeek

UWE SCHNEIDEWIND¹, CHRISTIAN ANIBAS², GERD VANDERSTEEN³, INGEBORG JORIS¹, OKKE BATELAAN⁴, CHRISTIAN SCHMIDT⁵

¹ Environmental Modeling Unit, Flemish Institute for Technological Research (VITO)

² Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel

³ Department of Fundamental Electricity and Instrumentation, Vrije Universiteit Brussel

⁴ School of the Environment, Flinders University

⁵ Department Hydrogeologie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Kontakt: canibas@vub.ac.be

Die zuverlässige Quantifizierung von Grundwasser-Oberflächenwasseraustauschraten zwischen Fließgewässern und den mit ihnen in Verbindung stehenden Grundwasserleitern spielt eine wichtige Rolle bei der Untersuchung von Strömungs- und Transportprozessen in der hyporheischen Zone. Dabei sind Austauschraten zwischen beiden Kompartimenten abhängig von einer Reihe von Faktoren, wie z.B. den Eigenschaften des Fließgewässers (Flussbettmorphologie, Fluss-laufgeometrie, hydraulische Eigenschaften des Flussbettsediments), des Grundwasserleiters als auch von äußeren natürlichen und antropogenen Faktoren.

Die Quantifizierung von Austauschraten kann dabei direkt durch Seepagemetermessungen erfolgen oder indirekt z.B. durch den Gebrauch von Wärme als Tracer (Anderson, 2005). Dabei werden gewöhnlich die räumlichen und zeitlichen Temperaturveränderungen in verschiedenen Tiefen des Flussbettes gemessen, diese Zeitreihen dann mittels numerischer oder analytischer Verfahren analysiert und zur Bestimmung der Austauschraten verwendet.

Wir haben für einen Abschnitt des Slootbeeks, eines belgischen Tieflandflusses über mehrere Monate kontinuierlich Flussbetttemperaturen an sieben verschiedenen Punkten und jeweils sieben Tiefen gemessen. In einer ersten Analyse haben wir einen Teil der Temperaturzeitreihen mit dem numerischen Model STRIVE (Anibas et al., 2009) sowie der analytischen Methode nach Keery et al., (2007), welche in der Software VFLUX (Gordon et al., 2012) eingebunden ist, untersucht. Zusätzlich haben wir ein neues, ebenfalls auf der 1D Wärmetransportgleichung beruhendes Verfahren entwickelt und mit den anderen Methoden verglichen. Dieses Verfahren, LPML genannt, gebraucht eine lokale Polynomgleichung zur Bestimmung der Frequenz-Antwort des Systems und einen Maximum-Likelihood Estimator zur Bestimmung und Optimierung der Austauschrate. LPML bietet gegenüber anderen analytischen 1D Verfahren die Vorteile, dass sowohl Model- als auch die Parameterunsicherheiten auf einfache Weise bestimmt und je nach Struktur der Zeitreihe auch Frequenzbereiche simultan gebraucht werden können, die nicht nur den Tag-Nacht-Zyklus beschreiben.

In einer zweiten Analyse haben wir die räumliche Verteilung der Austauschraten im Slootbeek untersucht und dabei festgestellt, dass diese zwischen $-19,3$ und $-648,3$ mmd^{-1} variieren. Diese Resultate stimmen grundsätzlich gut mit denen von durchgeführten Seepgagemetermessungen überein und beruhen auf dem heterogenen Aufbau des Flussbettsediment (Kies und Sand mit variierendem organischen Anteil).

Anderson, M.P. (2005): Heat as a Groundwater Tracer. Ground Water 43 (6): 951-968.

Anibas, C., Fleckenstein, J.H., Volze, N., Buits, K., Verhoeven, R., Meire, P., Batelaan, O. (2009): Transient or steady-state? Using vertical temperature profiles to quantify groundwater-surface water exchange. *Hydrological Processes* 23(15) 2165-2177.

Gordon, R.P., Lutz, L.K., Briggs, M.A., McKenzie, J.M. (2012): Automated calculation of vertical pore-water flux from field temperature time series using the VFLUX method and computer program. *Journal of Hydrology* 420-421: 142-158.

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. *Journal of Hydrology* 336 (1-2): 1-16.

O 6.14: H19, NW II, 30.05.2014, 17:40-18:00

Quantifizierung hyporheischer Austauschprozesse mittels konservativer und reaktiver Tracerversuche

Kontakt: julia.knapp@student.uni-tuebingen.de

Traditionelle Markierversuche in Flüssen beruhen meist auf dem Einsatz einer einzigen, konservativen Tracersubstanz. Diese lassen allerdings keine Rückschlüsse auf die Verweilzeitverteilung des Flusswassers in der hyporheischen Zone (HZ) zu, da sich die Dispersion im Fließgewässer, der Austausch mit Totwasserzonen und der Austausch des Flusswassers mit der hyporheischen Zone ähnlich auf die Form der gemessenen Durchbruchkurve auswirken. Durch die zeitgleiche Zugabe eines reaktiven Tracers, der selektiv in der HZ umgewandelt wird, können die Prozesse, die zur Spreitung der Durchbruchkurve beitragen, getrennt werden. Die Intensität des hyporheischen Austausches und die Verteilung der Verweilzeiten in der HZ können ermittelt werden, wenn die Durchbruchkurven konservativer und reaktiver Tracer gemeinsam analysiert werden.

Wir haben reaktive Tracerversuche in mehreren Flüssen in der Umgebung Tübingens und in der Selke durchgeführt und ausgewertet (Lemke et al., 2013b). Zusätzlich zum konservativen Markierstoff Uranin haben wir Resazurin eingesetzt, ein Fluoreszenztracer, der in der hyporheischen Zone irreversibel zum ebenfalls fluoreszierenden Resorufin umgewandelt wird. In-situ Messungen der Konzentrationen erfolgten an mehreren Stellen unterhalb der Eingabestelle mithilfe von Mehrkanal-Feldfluorometern, die Uranin, Resazurin, Resorufin und die Trübe kontinuierlich erfassen (Lemke et al, 2013a).

Aus den Durchbruchkurven haben wir Parameter des Stofftransports im Gewässer, die Austauschintensität mit der HZ, Sorptions- und Abbaukoeffizienten für die reaktiven Stoffe sowie die Verteilung der Aufenthaltszeiten der HZ mit einer Methode abgeleitet, die keine bestimmte parametrische Form der Verteilung vorgibt (Liao und Cirpka, 2010; Liao et al., 2013). In anstehenden Untersuchungen sollen die reaktiven Tracertests mit Untersuchungen zum Sauerstoffhaushalt kombiniert werden und in Stofftransportmodelle für biogeochemische Hauptkomponenten einfließen.

LEMKE, D., SCHNEGG, P.-A., SCHWIENSTEK, M., OSENBRÜCK, K. & CIRPKA, O. A. (2013a): Online fluorometry of multiple reactive and conservative tracers in streams. - *Environmental Earth Sciences*.

LEMKE, D., LIAO, Z., WÖHLING, T., OSENBRÜCK, K. & CIRPKA, O. A. (2013b): Concurrent conservative and reactive tracer tests in a stream undergoing hyporheic exchange. - *Water Resources Research* 49.

LIAO, Z. & CIRPKA, O.A. (2011): Shape-free inference of hyporheic traveltime distributions from synthetic conservative and "smart" tracer tests in streams. - *Water Resources Research* 47.

LIAO, Z., LEMKE, D., OSENBRÜCK, K. & CIRPKA, O.A. (2013): Modeling and inverting reactive stream tracers undergoing two-site sorption and decay in the hyporheic zone. - *Water Resources Research* 49.

O 6.16: H19, NW II, 30.05.2014, 18:00-18:20

Identifikation, Quantifizierung und Charakterisierung von submarinen Grundwasseraustritten auf der Insel Spiekeroog, Norddeutschland

TANIA RÖPER¹, JANEK GRESKOWIAK¹, FRANZISKA POESCHKE², JÖRG LEWANDOWSKI², GUDRUN MASSMANN¹

¹ **Universität Oldenburg**

² **Leibnitz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei**

Kontakt: tania.roeper@uni-oldenburg.de

Submarine Grundwasseraustritte bilden einen wichtigen Stofftransportweg zwischen küstennahen Grundwasserleitern und den Ozeanen und treten überall dort auf, wo ein Grundwasserleiter mit einem positiven Gradienten in Richtung Ozean besteht. Sie treten diffus oder lokal auf, dann aber meist heterogen verteilt und sind zeitlich variabel, wodurch eine Lokalisierung von Austrittsstellen und direkte Messungen oft schwierig sind.

In dieser Studie wird eine Methode zur Identifikation von lokalen submarinen Grundwasseraustrittsstellen mittels Infrarotmessungen präsentiert, die erfolgreich am Nordweststrand der Nordseeinsel Spiekeroog angewendet werden konnte (Röper et al., eingereicht). Dabei wurden zentimetergroße, diskrete Grundwasserquellen im tidal beeinflussten Strandbereich nahe der Niedrigwasserlinie lokalisiert. Eine Infrarotkamera lässt diese sehr kleinen Quellen, die mit dem bloßen Auge im nassen Strandbereich durch den gleichzeitigen Meerwasserabfluss bei Ebbe nicht zu erkennen sind, aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen Grund- und Meerwasser sichtbar werden. Die Messungen erfolgten in zwei Feldkampagnen im Winter und Sommer, da dann die größten Temperaturunterschiede, also die deutlichsten Signale, zu erwarten waren. Die Grundwasserquellen treten im Untersuchungsgebiet alle 1-2 m entlang der Niedrigwasserlinie auf. Die Temperaturdifferenz zum umgebenden Meerwasser liegt bei 1-5 °C.

Die Grundwasserquellen wurden mithilfe von Porenwasserlanzen beprobt und auf Hauptkat- und -anionen und stabile Wasserisotope analysiert. Die Wasserstoff- und Sauerstoffisotopensignaturen entsprechen den Grundwassersignaturen der Süßwasserlinse, also dem Grundwasserleiter der Insel. Die Austrittsrate wurde mit einem elektromagnetischen Seepagemeter gemessen und über den hydraulischen Gradienten berechnet. Die Austrittsrate liegt bei etwa 420 ml/min.

Die Identifizierung submariner Grundwasseraustrittsstellen mithilfe einer Infrarotkamera erwies sich als effektive, nicht invasive und leicht anwendbare Methode, für die schon geringe Temperaturunterschiede von 1-2 °C ausreichen, sofern andere Temperaturquellen, wie z.B. die Sonneneinstrahlung, minimiert werden können.

Die Quantifizierung submariner Grundwasseraustrittsraten liefert einen wertvollen Beitrag für das Verständnis hydrologischer Systeme.

Röper, T., J. Greskowiak, G. Massmann. Detecting small groundwater discharge springs using handheld thermal infrared imagery. Eingereicht bei *Ground Water*.

Poster

P 6.1

Anthropogenic influences on a small catchment as shown by dissolved fertilizers, chloride and carbonates: The Bucher Landgraben (Northern Bavaria)

ANNE BATZ¹, SIMONE HINTZE¹, ROBERT VAN GELDERN¹, JOHANNES BARTH¹

¹ Lehrstuhl angewandte Geologie, Geozentrum Nordbayern

Kontakt: anne.batz@freenet.de

The aim of this study was to investigate effects of land use in a small agricultural catchment, the "Bucher Landgraben" north of Nuremberg (Bavaria). Preliminary results highlighted influences of human inputs by agriculture and roads. Further influences by industry and an airport in the catchment area were not investigated in this study. For this purpose two sampling campaigns were carried out, the first in February 2013 and the second in March 2013. During each campaign 11 to 14 sampling points were visited and the following *in situ* parameters were measured: temperature, pH, conductivity, alkalinity, redox potential and oxygen concentration. Major ions (Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , F^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} and PO_4^{3-}), oxygen and hydrogen stable isotope composition of water ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$), stable carbon isotope ratio of dissolved inorganic ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$), dissolved organic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$), and particulate organic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$) were analysed in the laboratory.

One of the key findings of this study was how fertilizers influence the carbon cycle and weathering. For instance nitrate concentrations ranged from 4.8 to 310.0 mg/L. The latter value occurred at the transition from a forested- to an agriculturally used area and most likely reflects influences by fertilizers. Chloride concentrations showed an opposite trend and were influenced by road salt in the source area with values up to 379 mg/L. Much lower values around 60 mg/L were found in the agriculturally used sections of the stream. Nitrate values correlated with calcium and magnesium contents. This corresponds to findings by Gandois et al. (2011), Perrin et al. (2008) and Semhi et al. (2000).

Gandois L., Perrin A. S., Probst A. (2011): Impact of nitrogenous fertiliser-induced proton release on cultivated soils with contrasting carbonate contents: A column experiment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75 (1185-1198)

Perrin A. S., Probst A., Probst J. L. (2008): Impact of nitrogenous fertilizers on carbonate dissolution in small agricultural catchments: Implications for weathering CO_2 uptake at regional and global scales. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72 (3105-3123)

Semhi K., Amiotte Suchet P., Clauer N., Probst J. L. (2000): Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion processes and fluvial transport in the Garonne basin. *Applied Geochemistry* 15 (865-878)

Application of the Damköhler concept to characterize the transformation efficiencies of riparian wetlands

SVEN FREI¹

¹ Hydrologie, Universität Bayreuth

Kontakt: sven.frei@uni-bayreuth.de

The Damköhler concept has proven to be a useful tool in chemical engineering to characterize the interaction between reaction and transport timescales. However, its application in natural systems like catchments has proven to be very difficult, mainly because the necessary information to calculate Damköhler numbers is very difficult to obtain. In this modeling study we are using the Damköhler concept to characterize the transformation efficiencies of riparian wetlands.

ALLEGRO, M. (2006): What does it mean? – In: TURM, P., BAUER, B. & LÄUFER, R. (eds.): Guess what. Springer, 16-44; Hintertux.

RUSITZKA, E. & JUBITZ, K.-B. (1968): Trias. – In: Grundriß der Geologie der DDR, Bd. 1: 268-89; Berlin.

WOLBURG, J. (1969): Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk und Keuper Entwicklung Nordwest Deutschlands, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein. – Geotekt. Forsch., 32: 1-65; Stuttgart.

Auswirkungen des Klimawandels auf den Grundwasserhaushalt in Niedersachsen - Das Wasserhaushaltsmodell mGROWA in der Anwendung -

HERBERT RÖHM¹, JÖRG ELBRACHT¹, FRANK HERRMANN², RALF KUNKEL², FRANK WENDLAND²

¹ Referat Hydrogeologie, LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

² FZ Jülich

Kontakt: herbert.roehm@lbeg.niedersachsen.de

Auf Grund des Klimawandels ist zu erwarten, dass sich die höchsten Niederschlagsmengen von den Sommermonaten in die Wintermonate verschieben werden. Bei der prognostizierten Zunahme der Temperaturen und damit einer Erhöhung der Verdunstung wird diese Verschiebung Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung haben. Darüber hinaus hat dies Auswirkungen auf den jahreszeitlichen Verlauf des Grundwasserstandes: Es sind die Vergrößerung der Amplitude der Grundwasserganglinien und zeitliche Verschiebung von Minima und Maxima zu erwarten. Da in Niedersachsen 86 % des Trinkwassers dem Grundwasser entnommen werden (Reutter 2011), ist es für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung von grundlegender Bedeutung, ob und wie sich die Grundwasserneubildung in Zukunft verändern wird.

Diesen skizzierten erhöhten Anforderungen an ein Grundwasserhaushaltsmodell genügte das bis dato in Niedersachsen eingesetzte Modell GROWA06V2 nicht mehr, sodass es folgerichtig war, ein neues Modell zu entwickeln. Das Forschungszentrum Jülich wurde daher vom LBEG mit der Entwicklung eines Modells beauftragt, das flächendeckend für ganz Niedersachsen auf Basis vorhandener Daten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung die Grundwasserneubildung berechnet. Es sollte für verschiedene Zeitreihen anwendbar sein, auch Klimaszenariodaten als

Input verwenden können, den Bodenwasserhaushalt und die Dränung berücksichtigen und insbesondere den innerjährlichen Verlauf abbilden. Als Ergebnis wurde das Wasserhaushaltsmodell „mGROWA“ vorgestellt (Herrmann et al. 2013).

In den ersten Rechenläufen wurde die Grundwasserneubildung als 30jähriger Mittelwert für die Jetztzeit und die Referenzperiode 1961/1990 auf Basis der gemessenen DWD-Daten ermittelt und mit den Daten von GROWA06V2 verglichen, um systemare Unterschiede und ihre Größenordnungen zu ermitteln. Für einige Gebiete (Niederungen, Marschen) ergibt mGROWA mit niedrigeren Grundwasserneubildungsraten plausible Werte als GROWA06V2, was auf der Integration des Bodenwasserhaushaltsmodells BOWAB (Engel et. al. 2012) sowie der Berücksichtigung der flächenhaften Dränung beruht.

In mehreren weiteren Rechenläufen wurden Klimaszenariodaten (WETTREG2010, Szenario A1B) verwendet, um die mittlere 30jährige Grundwasserneubildungshöhe für verschiedene Zeitscheiben zu simulieren. Für diese Berechnungen wurden nur die klimatischen Eingangsparameter variiert; die Geologie, der Bodentyp, der Grundwasserflurabstand und die Landnutzung wurden zunächst als unveränderlich angenommen, obwohl davon auszugehen ist, dass sich die Landnutzung nicht nur unter Klimawandelbedingungen verändern wird.

Zur Abschätzung möglicher Auswirkungen auf die Grundwasserwirtschaft (Trink- und Brauchwassergewinnung, Feldberegnung) wurde das Grundwasserdargebot für die einzelnen Grundwasserkörper (nach EG-WRRL) berechnet. Wie die Ergebnisse zeigen, kann – basierend auf den verwendeten Klimaszenariodaten- zum Ende des 21. Jahrhunderts das Dargebot abnehmen und die Bilanz für einige Grundwasserkörper negativ werden.

REUTTER, E. (2011): Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens.- 2. Aufl., 11 S., 5 Abb., 2 Tab.; Hannover (LBEG).

ENGEL, N., MÜLLER, U. & SCHÄFER, W. (2012): BOWAB – Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. GeoBerichte 20, 85–98, 4 Abb., 4 Tab., Hannover (LBEG).

HERRMANN, F., CHEN, S., HEIDT, L., ELBRACHT, J., ENGEL, N., KUNKEL, R., MÜLLER, U., RÖHM, H., VEREECKEN, H. & WENDLAND, F. (2013): Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Modell mGROWA. Hydrologie u. Wasserbewirtschaftung, 57 (5), 206-224, 9 Abb., 3 Tab., Koblenz (BfG).

P 6.4

Durchlässigkeitsbeiwerte von Lockersedimenten im Lechtal, Wertachtal und in angrenzenden Gebieten

OLIVER HÜMMER¹

¹ Referat 104 Hydrogeologie, Landesamt für Umwelt

Kontakt: oliver.huemmer@lfu.bayern.de

Im Rahmen des Projektes „Informationsoffensive Oberflächennahe Geothermie 2012 bis 2015“ werden für die Planungsregionen Augsburg und Donau-Iller die geologischen, hydrogeologischen und bodenkundlichen Kartenwerke bearbeitet. Diese bilden unter anderem die Grundlage für eine Standortauskunft zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie. Die möglichst genaue Kenntnis über die geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes sind wichtig für die Planung, Auslegung und Genehmigung von Erdwärmeeinrichtungen. Beispielsweise ist der

Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) für die richtige Dimensionierung von Grundwasser-Wärmepumpenanlagen von zentraler Bedeutung.

Das untersuchte Gebiet befindet sich im Raum Augsburg und erstreckt sich nach Süden entlang des Lech- und Wertachtals bis nach Bad Wörishofen. Geologisch handelt es sich um Lockergesteinsablagerungen aus dem Quartär und Tertiär. Die quartären Sedimente umfassen die holozänen Ablagerungen und die während der Eiszeiten gebildeten Sedimente des Pleistozäns. Sie bestehen aus einem heterogenen Spektrum von Sanden, Kiesen und Schottern mit unterschiedlich hohem Feinkornanteil. Im Liegenden werden die Sedimente der tertiären Oberen Süßwassermolasse angetroffen, die durch eine Verzahnung von sehr feinkörnigen bis hin zu grobkörnigen Sedimenten charakterisiert sind. Hydrogeologisch betrachtet handelt es sich um Porengrundwasserleiter mit ergiebigen Grundwasservorkommen in den fluviatilen und fluvioglazialen Schottern und Sanden im Lechtal und Wertachtal.

Im Rahmen der Hydrogeologischen Landesaufnahme wurden in das BIS (= Bodeninformationssystem) rund 200 Pumpversuchsdaten eingegeben, die zur Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) der quartären und tertiären Ablagerungen zur Verfügung standen. Die Auswertung erfolgte nach dem Verfahren von Dupuit/Thiem.

Die Ergebnisse zeigen in den jeweiligen hydrogeologischen Einheiten unterschiedliche Werte. Der Median des k_f -Wertes in der hydrogeologischen Einheit der „Fluviatilen Schotter und Sande (Quartär)“ beträgt $9,56 \cdot 10^{-3}$ m/s und in der hydrogeologischen Einheit der „Fluvioglazialen Schotter und Sande (Quartär)“ $5,00 \cdot 10^{-3}$ m/s. Diese k_f -Werte sind typisch für die Sedimente im Quartär. Im Vergleich dazu beträgt der Median des k_f -Wertes in der „Oberen Süßwassermolasse (Tertiär)“ $3,49 \cdot 10^{-5}$ m/s und zeigt damit wesentlich geringere Durchlässigkeiten als in den quartären Sedimenten an.

Bei Betrachtung der auf die Fläche interpolierten k_f -Werte ergeben sich regionale Unterschiede. Die Kenntnis über die räumliche Verteilung der k_f -Werte verbessert die Informationsgrundlage für die Standortauskunft und ermöglicht eine fachgerechte Dimensionierung von Grundwasser-Wärmepumpenanlagen.

Diese Ergebnisse sind erste Erkundungen der Hydrogeologischen Landesaufnahme und bilden einen Teil der gesamten geologischen Kartierarbeiten in dieser Planungsregion.

P 6.5

Fließdynamik der Süßwasserlinse unter der Dünenheide der Insel Hiddensee, Ostsee

CHRISTIAN DÖTSCHEL¹, TAMMO MEYER¹, MARIA-THERESIA SCHAFMEISTER¹, STEPHAN WEISE²

¹ Angewandte Geologie/Hydrogeologie, Universität Greifswald

² Department Catchment Hydrology, UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Kontakt: stephan.weise@ufz.de

Die Insel Hiddensee ist der größten deutschen Ostseeinsel Rügen westlich vorgelagert. Sie erstreckt sich ca. 20 km in nord-südlicher Richtung und maximal 2 km breit, zumeist jedoch nur

wenige 100 m. Dem Süßwasservorkommen dieser Insel, die von Ostseewasser mit einem durchschnittlichen Salzgehalt von 14 ‰ umgeben ist, kommt im Zusammenhang mit Tourismus und vor allem dem empfindlichen vegetationsökologischen Gleichgewicht eine besondere Bedeutung zu. Im Untersuchungsraum, der Dünenheide im Zentralteil der Insel Hiddensee, wurden daher zwei ca. 500 m lange Transsekte ausgehend von der westlichen Ostseeküste landeinwärts mit jeweils acht flachen Piezometern angelegt, um die saisonalen hydrodynamischen Fluktuationen zu beobachten. Im Juli 2012 sowie im April 2013 wurde neben den hydrochemischen Hauptinhaltsstoffen (nur 2013) die Isotopie des Wassers ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, Tritium) sowie der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des gelösten anorganischen Kohlenstoffs ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TIC}}$) bestimmt.

Der im Arbeitsgebiet etwa 7-8 m mächtige unbedeckte mittelsandige Grundwasserleiter wird im Liegenden durch eine Mudde bzw. durch Geschiebemergel begrenzt. Die Heidelandschaft zeichnet sich durch Dünen und Talbereiche aus mit Höhen zwischen 1 und 3 m üNN. Die Flurabstände variieren räumlich und saisonal zwischen 1,77 m (Aug. 2012) und -0,12 m (Apr. 2013). Der hydraulische Gradient ist vorwiegend 1,7 bis 2,5 ‰ nach Westen geneigt, jedoch verschiebt sich die Grundwasserscheide der Insel saisonal (Nov. 2012) auf bis zu 450 m Distanz zur Westküste. Die Abstandsgeschwindigkeit wird in Abhängigkeit des hydraulischen Gradienten mit 8 bis 20 cm/d geschätzt.

Während sich im Süd-Transsekt (ST) kein merklicher Ostseewasser-Einfluss findet, zeigen im Nord-Transsekt (NT) die von der Küste zum Insel-Inneren abnehmenden Chloridgehalte geringe Beimengungen an (unter einem Prozent). Aus den Tritiumgehalten beider Beprobungskampagnen am NT lassen sich die Verweilzeiten des Grundwassers zu „jünger als 6 Jahre“ eingrenzen, sogar saisonale Schwankungen scheinen sich abzubilden. Derartige Schwankungen werden durch die in den $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten beobachteten Variationen in, gemessen an dem begrenzten Untersuchungsgebiet, unerwartet ausgeprägter Weise bestätigt.

Mit 3,8 – 8,6 mg/L liegen die Sulfatgehalte des NT systematisch höher als jene des ST (0,8 – 3,5 mg/L; mit Ausnahme des Piezometers an der Wasserscheide: 13 mg/L). Die mit den Sulfatgehalten im NT korrelierenden $\delta^{13}\text{C}$ -Werte des gelösten gesamten anorganischen Kohlenstoffs deuten auf kleinräumige biogeochemische Prozesse. Dieser Befund wird durch Analogien im Nitratgehalt und durch eine sich andeutende weitere Korrelation mit dem Deuterium-Exzess unterstützt.

Als erstes Fazit gehen wir davon aus, dass die hydrogeochemischen Bedingungen für das vegetationsökologische Gleichgewicht auf räumlich und zeitlich kleiner Skala bemerkenswerten Variationen unterliegen dürfte.

P 6.7

Nährstofftransport in marine Ökosysteme durch submarinen Grundwasserabfluss von tropischen Inseln

*NILS MOOSDORF*¹

¹ Insitut für Geologie, Universität Hamburg

Kontakt: nils_sci@moosdorf.de

Nährstofftransport durch submarinen Grundwasserabfluss (“submarine groundwater discharge”:

SGD) von tropischen Inseln kann die Funktionalität benachbarter mariner Ökosysteme stark beeinflussen. Dieser Transportweg wurde bisher meist punktuell in kleinräumigen Studien analysiert. Das hier vorgestellte Projekt soll SGD als Transportweg für Nährstoffe auf globaler Skala untersuchen, sowie auf regionaler Skala am Beispiel Java.

Im Detailbeispiel Java soll das Verständnis von Steuerungsmechanismen von SGD und assoziiertem Nährstofftransport auf regionaler Skala quantitativ gebildet werden. Die Erkenntnisse werden dann, gemeinsam mit Ergebnissen anderer Studien, auf globale Skala übertragen. Mithilfe gemessener hydrochemischer Daten und ihrer statistischen Beziehungen zu Geodaten werden die Nährstoffflüsse für die Gegenwart und für zukünftige Szenarios räumlich aufgelöst extrapoliert. Dies identifiziert Regionen, deren Küstenökosysteme aktuell oder in Zukunft durch SGD negativ beeinflusst werden könnten. Nach weiteren Messkampagnen können für diese Regionen Grundwassermanagementstrategien entwickelt werden, um negative Effekte zu reduzieren.

Das präsentierte Projekt wird sowohl Grundlagenwissen über einen potentiell relevanten Transportweg im Erdsystem erweitern, als auch praktische Vorschläge zur Verbesserung des Zustandes der Küstenökosysteme in SGD-beeinflussten tropischen Regionen liefern. Hier werden die Grundlagen des Projektes in einem frühen Stadium gezeigt um durch offene Diskussion die Qualität der Projektergebnisse zu erhöhen.

P 6.8

Pleistocene groundwater – evidence from stable and radiogenic isotopes

ROBERT VAN GELDERN¹, SIGRID KOWOL², JOHANNES A.C. BARTH¹

¹ GeoZentrum Nordbayern, Universität Erlangen-Nürnberg

² Erlanger Stadtwerke AG

Kontakt: robert.van.geldern@fau.de

The metropol region Nuremberg and its vicinity in Northern Bavaria is an area that has been used intensively for industry and agriculture for several decades. Whereas the upper aquifers are influenced from this anthropogenic use to various degrees the deeper aquifers in the region should contain potentially pristine water that is not influenced by modern meteoric recharge. In order to secure and maintain high-quality drinking water reserves it is essential to investigate and understand groundwater recharge and hydrogeological conditions.

In this study water samples from a confined, deeper aquifer ('Benkersandstein'; Keuper) were analysed for hydrogen and oxygen stable isotope composition ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$), tritium (^3H), and radiocarbon (^{14}C). To investigate potential groundwater recharge by modern precipitation a local meteoric water line (LWML) was calculated from the stable isotope precipitation data analysed over several years at the GeoZentrum Nordbayern.

Tritium content was below limit of detection (LOD) in all samples and indicates that sampled groundwater did not interact with surface water during the last ~50 years. Except for one sample, ^{14}C -analyses revealed no percentage modern carbon (pMC) above LOD and indicate a water age older than ~26.000 years BP. A radiocarbon age >21.000 years BP is calculated after applying corrections after Pearson and Hanshaw (1970) for the single well containing low pMC concentrations.

The oxygen and hydrogen stable isotope data from all wells are virtually identical within analytical errors and show a calculated mean value of $-10.6(\pm 0.1)\text{‰}$ and $-74(\pm 0.4)\text{‰}$. These values are depleted in ^{18}O and ^2H relative to the mean value of the local modern recharge water (Fig. 1). This clearly indicates that the groundwater in the aquifer is not recharged by modern precipitation.

Evidence from stable and radiogenic isotope data show that the analysed groundwater was not part of the hydrological water cycle in the more recent human history. The water is older than 20,000 years and most likely originates from the isotopic depleted melt water from the last Pleistocene ice age and might therefore provide a resource of pristine water for the future.

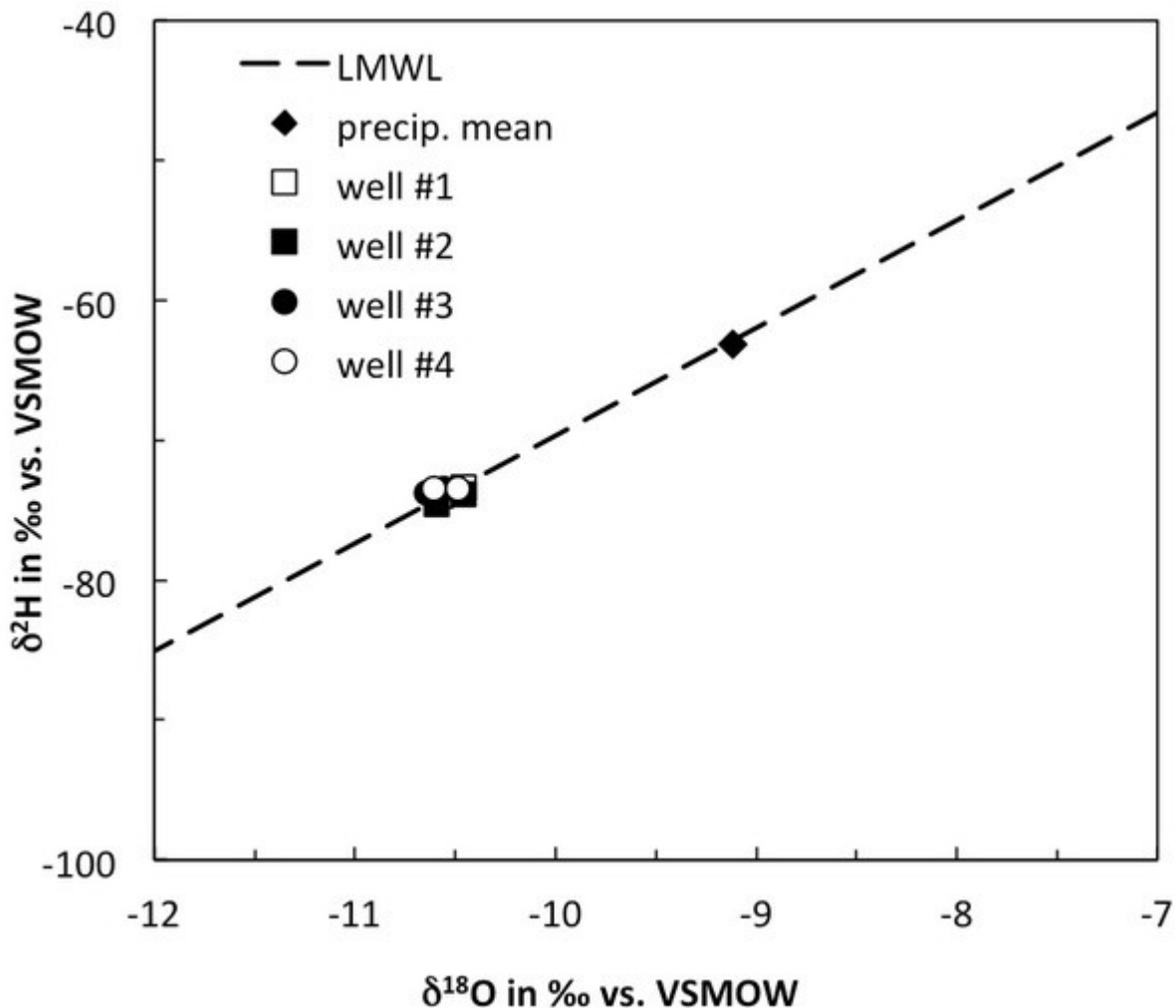


Figure 1: Oxygen and hydrogen stable isotope data from deep aquifer compared to LMWL and mean value of modern recharge water.

Pearson, F.J. and Hanshaw, B.B. (1970): Sources of dissolved carbonate species in groundwater and their effects on carbon-14 dating; in *Isotope Hydrology 1970*; IAEA Symposium 129, p. 271-286.

Preliminary geochemical investigations of the Aisch river in Northern Bavaria show groundwater influences

SIMONE HINTZE¹, ANNE BATZ¹, CHRISTIAN HANKE¹, ROBERT VAN GELDERN¹, JOHANNES A. C. BARTH¹

¹ Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Erlangen-Nürnberg

Kontakt: simonehintze@t-online.de

The Aisch is a small, 70 km long, meandering river that flows through Middle and Upper Franconia and discharges into the Regnitz river. Already shortly after its source, the Aisch shows a low average morphological gradient of 1.1 ‰. The catchment area belongs to the “Fränkisches Schichtstufenland” with a geology characterized by “Gipskeuper” in the Southwest and “Sandsteinkeuper” in the North-East. In two sampling campaigns, in February and April 2013, the Aisch and some of its tributaries were sampled and analyzed for major ions (sodium, ammonium, potassium, calcium, magnesium, bicarbonate, fluoride, chloride, nitrite, nitrate, phosphate and sulfate) and for stable isotope compositions of carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$) and water ($\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$). The downstream trend of major ions reflects decreasing weathering rates of the geological formations along the Aisch as the river flows into the sandstone terrain. Conductivity also confirms this trend. The dominant ions in the Aisch are sulfate and calcium with average values of 359 mg/L and 188 mg/L. Both originate dominantly from the dissolution of the gypsum-bearing rocks named “Grundgips” within the “Myophorienschichten”. The source of the river is a saturated gypsum solution. The dissolution of the “Grenzdolomit” also influences the calcium concentrations. In contrast, the nutrients mirror the change of the land use and biological activity. The headwater showed higher nitrate concentrations than in the lower course of the river and was most likely dominated by fish farming. The ponds influence also the ammonium concentrations in the river. Water isotopes ($\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}} = -60$ to -69 ‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -7.4$ to -9.7 ‰) show that in winter the groundwater inflow dominates the Aisch, whereas in April snowmelt and more intense precipitation had stronger influences. The water isotopes of a small tributary system, the “Aischgraben”, were more enriched when compared to the main river due to evaporation in a series of upstream ponds. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values of the entire river system were in the range of -15.8 to -6.5 ‰. In April the values were more negative, likely due to more active turnover of organic material. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$ and $\delta^{13}\text{C}_{\text{POM}}$ values were mostly influenced by C_3 plants and showed a range of -27.4 to -22.0 ‰ for DOC and -30.3 to -21.7 ‰ for POC.

The role of CO₂ fixing microbes in soil organic matter storage and dynamics near a natural CO₂ vent in NW Bohemia (Czech Republic)

MARTIN NOWAK¹, FEIX BEULIG², JOE V. FISCHER³, KIRSTEN KÜSEL², SUSAN TRUMBORE¹

¹ Abteilung für Biogeochemische Prozesse, Max-Planck Institut für Biogeochemie

² Aquatic Geomicrobiology Group, Institute of Ecology, Friedrich Schiller University Jena, Dornburger Str. 159, D-07743 Jena, Germany

³ Department of Biology, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523

Kontakt: mnowak@bgc-jena.mpg.de

Soil respiration constitutes the biggest flux within the terrestrial carbon cycle, emitting 60 Gt of C to the atmosphere. However, it is known that part of the respired CO₂ can be re-fixed by chemo-lithoautotrophic as well as heterotrophic microorganisms, which might enhance the role of soils as a carbon sink, at least locally. CO₂ fixation can occur from topsoils down to deep aquifers and might therefore have also an impact on the cycling of carbon and other life sustaining elements like nitrogen, iron or sulphur in the subsurface.

Further, recycling of CO₂ and its conversion into microbial biomass can alter both, the radiocarbon and stable isotope composition of SOM, as soil CO₂ can be isotopically distinct from organic matter present in the same soil due to fractionation or mixing processes. This might in turn lead to misinterpretations of carbon dynamics and turnover rates determined by isotope studies.

In order to study this process, we started isotope investigations at mofette sites. Mofettes are CO₂ vents of geogenic gases from the earth's mantle. Because of the high impact of the ascending CO₂ on soil properties, it was proposed to classify mofette soils as reductosols, which are characterized by the lack of oxygen, accumulation of C_{org} and the abundance of reduced gases. High pCO₂ values up to 1 also highly influence the microbial community in these soils, shifting it towards groups that can utilize the CO₂ for metabolic and catabolic reactions. Another special feature is that the soil CO₂ at mofette sites is characterized by a distinct isotopic value than C that is derived from plant input, because the CO₂ is "dead" with respect to radiocarbon ($\Delta^{14}\text{C} = -1000\text{‰}$) and enriched with respect to ¹³C ($\delta^{13}\text{C} = -2\text{‰}$).

We hypothesise that the amount of SOM derived from microbially fixed CO₂ can be quantified by combined ¹⁴C and ¹³C analyses. Mass balances with both isotopes allow quantification of SOM derived from CO₂ fixation, if all end-members are known. Further, we want to conduct ¹³CO₂ as well as ¹⁴C labelling experiments with mofette soils. With this, we want to gain information about CO₂ uptake rates and kinetics of the soil microbial community.

These combined field and experimental investigations will give us insights into carbon dynamics in reductosols and the importance of CO₂ fixation for SOM formation. The knowledge about the fate of microbially fixed CO₂ might also be important for anthropogenic reductosols that appear above leaking gas pipes or CO₂ storage reservoirs.

Wasserbilanz und Charakterisierung der Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser eines ehemals oligotrophen Geestsees mit Hilfe stabiler Isotope (Silbersee, Landkreis Cuxhaven)

HATEM ELMARAMI¹, HANNO MEYER², GUDRUN MASSMAN¹

¹ Carl Von Ossietzky Universität Oldenburg

² Alfred Wegner Institute, Potsdam

Kontakt: hatem.elmarami@uni-oldenburg.de

Der Silbersee im Landkreis Cuxhaven in Wehdel ist ein ehemals oligotropher Geestsee und von ökologischer Bedeutung. Er zeichnet sich durch eine seltene Pflanzengemeinschaft aus. Dort befindet sich das letzte Vorkommen des See-Brachsenkrauts (*Isoëtes lacustris*, Rote Liste 1) in Niedersachsen und es wird in der Roten Liste deutschlandweit als stark gefährdet (Kategorie 2) geführt. (Buchwald et al 2010, Buchwald et al 2012). Die Pflanzenpopulationen des Silbersees sind aufgrund erhöhter Nährstoffeinträge bedroht, die Herkunft der Nährstoffe und des Seewassers selber sind jedoch bislang unklar.

Ziele der Untersuchungen sind (i) zunächst die Herkunft des Wassers im See zu klären, (ii) um letztlich zu ermitteln, woher die Nährstoffe im See kommen. Zu diesem Zweck war es außerdem nötig, (iii) die hydraulische Anbindung zwischen Grund- und Oberflächenwasser zu prüfen. Zu diesem Zweck wurden regelmäßig Proben des Oberflächen- und Grundwassers sowie des Niederschlages entnommen und auf Hauptinhaltsstoffe, Nährstoffe und stabile Isotope ($d^{18}O$ und dD) analysiert.

Die Ergebnisse der Messungen der stabilen Isotope zeigen, dass sich Grund- und Oberflächenwässer isotopisch sehr stark unterscheiden. Das Grundwasser hat eine deutlich negativere Signatur als das Oberflächenwasser. Es liegt direkt auf der Local Meteoric Waterline (LMWL) von Cuxhaven. Das Oberflächenwasser zeigt eine weniger negative Isotopensignatur und liegt zudem auf einer Evaporationslinie, deren Ursprung im Sommer mittleren Jahresniederschlags.

zu liegen scheint. Das Oberflächenwasser ist zudem deutlich weniger stark mineralisiert als das Grundwasser. Der Vergleich der Wasserstände von See und Grundwasser zeigt, dass der Seewasserstand im betrachteten Zeitraum durchgehend höher als die Grundwasserstände der gesamten Messstellen lag. Die Isotopenbilanz ($\delta^{18}O$) des Sees zeigt, dass die Messwerte von $\delta^{18}O$ vom See sich alleine durch die $\delta^{18}O$ Signaturen des lokalen Niederschlags sowie die Fraktionierung während der Verdunstung abbilden lassen. Das Seewasser wird demnach ausschließlich durch den Niederschlag gebildet. Das Grundwasser ist deshalb nicht die Quelle der Nährstoffe, deren Ursprung bislang weiterhin unklar ist.

Buchwald, R., Schabelreiter, B. (2010): Monitoring 2010 von Kennarten oligotropher Stillgewässer (*Isoëtes lacustris*, *Littorella uniflora*) im Silbersee (Lkr.Cuxhaven)

Buchwald, R., Beneke, S. (2012): Monitoring 2012 von Kennarten oligotropher Stillgewässer (*Isoëtes lacustris*, *Littorella uniflora*) im Silbersee (Lkr.Cuxhaven)

Water-Sediment Interactions: Column Design for Ammonium Adsorption-Desorption Experiments

Theresa Frommen¹, Maike Gröschke², Laura Krömer¹, Gesche Grützmacher³, Andreas Winkler¹, Michael Schneider¹

¹ FU Berlin

² Kompetenzzentrum Wasser Berlin / FU Berlin

³ Kompetenzzentrum Wasser Berlin

Kontakt: theresa.frommen@fu-berlin.de

The fate and transport of ammonium during riverbank filtration at a study site in Delhi, India, is of significant importance due to the resulting pollution of drinking water production wells. In order to understand the behaviour of ammonium and to assess the future development of ammonium concentrations, column experiments were conducted with representative sediment samples from the floodplain aquifer in Delhi.

The experiments were conducted under oxic as well as under anoxic conditions, which prevail in the aquifer. In order to achieve conditions in the lab representative of the study site, the following set-up of the experiments was used: the model water was adjusted for the main ions in order to be comparable to the original groundwater. Anoxic conditions were established by using argon balloons to create an oxygen free atmosphere and by using glass or gas-tight tubes in order to inhibit gas exchange at the connections. The redox conditions were monitored with chemical optical oxygen sensor spots (PreSens) at six points during the entire duration of the experiments: in the model water vessel, at the inlet of the columns, at two points in the columns, at the outlet of the columns and in the sampling flasks. A peristaltic pump maintained a flow rate of ~0.17 ml/min. Measurements of pH and redox potential were conducted by connecting pH- and OPR-probes at the outlet of the columns.

This set up allows the procedure of column experiments in an oxygen free atmosphere. With the methods described above it is possible to control the redox conditions within the columns. This work contributes to the successful development of subsequent adsorption- desorption experiments.

Fast formation of supergene Mn oxides/ hydroxides in the oxic transition zone of a shallow aquifer in interaction with quaternary sediments

Franziska Schäffner¹, Dirk Merten¹, Giovanni De Giudici², Sven Linzen³, Georg Büchel¹

¹ Friedrich Schiller University, Institute of Geosciences, Applied Geology, Jena, Germany

² University of Cagliari, Department of Chemical and Geological Sciences, Cagliari, Italy

³ Institute of Photonic Technology, Department of Quantum Detection, Jena, Germany

Kontakt: franziska.schaeffner@uni-jena.de

The formation of near-surface supergene Mn-oxides/ hydroxides in an area influenced by former U mining activities (Ronneburg, Germany) could be classified as a natural attenuation process for certain heavy metals, e.g. Cd, Ni, Co and Zn. As a consequence of geologically fast formation the

supergene mineralization provide a cost efficient contribution for remediation of residual contaminated substrates, e.g. glacial sediments. The secondary minerals occur as colored layers close to the shallow aquifer in glacial sediments in a former U leaching heap area (heap Gessen) and could be identified as birnessite and todorokite as Mn minerals and goethite as the Fe mineral. Eh/pH stability fields reveal that the formation of goethite is favorable under the given physicochemical conditions (acidic and oxic) whereas Mn exists at the border of soluble Mn^{2+} and the stable MnO_2 . Different morphologies of mineralization (Liesegang bands, compact layer - both with acicular or layer like structures) are dependent on different water flow regimes according to different stages during remediation. The Mn-oxides in Ronneburg can be discussed under the aspect of supergene mineralization deposits as they occur relatively close to the surface, are not strata bound and include processes of circulating meteoric water with concomitant oxidation and chemical weathering. Furthermore, they occur within a relatively small timeframe of 3-9 years and therefore developed independently and long time after the sedimentary adjoining Quaternary deposits. For examination of the hypotheses for the formation of the supergene mineralization a special designed lysimeter approach was developed. The predominant phases observed in the field: Mg phase (evaporative salts), Fe phase (goethite), Mn phase (Mn-oxides/ hydroxides) and Al phase could be simulated in the lysimeter experiment due to capillary rise of contaminated groundwater. Additionally, a microbe mineral interaction for the Mn phase is hereby likely since Mn-oxides occur in the lysimeter next to organic material and microbes and as physicochemical conditions do not reveal the formation of solid Mn phases. Further, a SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) gradiometer technique was applied for the first time to monitor the formation of the magnetic mineral phases.

P 6.15

Stability and Effects of Natural Coatings on Engineered Inorganic Nanoparticles (EINP) investigated by Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS)

MELANIE KÜHN¹, NATALIA P. IVLEVA¹, REINHARD NIESSNER¹, THOMAS BAUMANN¹

¹ Institut für Wasserchemie, Technische Universität München

Kontakt: melanie.kuehn@tum.de

Emissions of engineered inorganic nanoparticles into the environment are increasing sharply due to their growing applications in industry and consumer products. Simultaneously, there is an increasing number of reports regarding adverse impacts of EINP on aquatic ecosystems and possible health risks. EINP used in consumer products are often only weakly bound or even unbound to their substrate (e.g. silver nanoparticles in textiles, TiO_2 nanoparticles in paints) and are therefore very likely to be released into the environment. Their transport in aquatic and terrestrial environments is controlled by the physical and chemical heterogeneity of the matrix along the flow path and the properties of the EINP themselves. While EINP are well characterized concerning their field of applications, there is still a lack of knowledge regarding their stability and transport behaviour when they are released into the environment. Additionally, EINP are likely to get coated with natural organic substances soon after release. Once the coating has formed, stability and transport behaviour of the nanoparticles will no longer be influenced by the core material, but mainly by the properties of the coating. Therefore, it is crucial to characterize the surface properties and stability of the EINP and their possible coating materials to predict their

behaviour under environmental conditions. However, analytical methods to characterize organic coatings on nanoparticles are scarce. One suitable tool for the investigation of coatings on silver nanoparticles is surface enhanced Raman spectroscopy (SERS). Silver nanoparticles are known to enhance the Raman signal of adsorbed or nearby substances by a factor of $10^3 - 10^6$. This leads to a considerably higher sensitivity of SERS compared to normal Raman micro-spectroscopy. Surface coatings on silver nanoparticles should therefore be accessible via the SERS effect. Citrate as well as hydroxylammoniumchloride stabilized silver nanoparticles were coated with humic acid for 24h, centrifuged and resuspended in deionised water. After this washing procedure, the samples were either dried on a silicon wafer or measured as liquid samples in a microtiter plate. Results indicate the formation of a stabilizing layer around the nanoparticles after contact with humic acid. Humic acid seems to form a quite stable coating around the nanoparticles that is even present after four steps of centrifugation and resuspension in deionized water. Interaction of EINP with physical and chemical heterogeneous model surfaces will be studied in microfluidic systems mimicking the flow paths in porous and fractured aquifers to quantify the transport properties of the nanoparticles as a function of different coating materials.

P 6.16

Mobilisierung von Arsen durch Phosphat als potentielle In-situ-Sanierungsmethode – Vorversuche im Labormaßstab

MARTIN MAIER¹, WOLTER YVONNE¹, ZENTLER DANIEL¹, SCHOLZ CHRISTIAN¹, ISENBECK-SCHRÖTER MARGOT¹

¹ Institut für Geowissenschaften, Universität Heidelberg

Kontakt: martin.maier@geow.uni-heidelberg.de

Grundwasserschadensfälle mit Arsen werden in der Regel durch Pump and Treat-Maßnahmen saniert oder gesichert. Die Effizienz dieser Maßnahmen ist limitiert, weil die Mobilität des Schadstoffs stark von den geochemischen Milieubedingungen abhängt und in der Regel gering ist. Durch Einbringung von Phosphat in den belasteten Aquifer kann die Mobilität des Schadstoffs erhöht und damit die Effizienz der Sanierungsmaßnahmen gesteigert werden. Zur Entwicklung einer potentiellen in-Situ Sanierungsmethode für einen Altstandort in Hessen wurde diese Methode in Säulenversuchen mit belastetem Aquifermaterial unter unterschiedlichen geochemischen Bedingungen getestet. Die Phosphatzugaben begannen in niedrigen Konzentrationen und wurden schrittweise gesteigert.

Während der Säulenversuche konnte für die unterschiedlichen Milieubedingungen ein signifikanter Anstieg der Arsenausträge beobachtet werden. Dabei war die Mobilitätssteigerung im anoxischen höher als im oxischen Milieu. Gegenüber einer unbeaufschlagten Referenz wurde der Austrag um das sechsfache erhöht. Schon bei geringen Phosphatgaben wurde ein deutlicher Anstieg des Arsenaustrages beobachtet. In diesen Versuchsphasen wurde insbesondere As(III) im Ausgang der Säulen gemessen. Es wird vermutet, dass in den niedrigen Konzentrationsbereichen insbesondere die mikrobielle Arsenreduktion zur Freisetzung von Arsen beiträgt. Unter höheren Gaben wird vermehrt auch As(V) ausgetragen wird. Hierfür ist die Substitution von Arsen durch Phosphat aus den Oberflächenkomplexen an Eisen(hydr-)oxiden oder Calcit als weiterer Prozess der Arsenfreisetzung verantwortlich. Während der Versuche wurden keine signifikanten Änderungen der hydrogeochemischen Bedingungen festgestellt, die mit der Freisetzung anderer

Metalle begleitet wurden.

In Kürze werden die Ergebnisse der Laborversuche im hydraulisch gesicherten Pilotversuch für die Eignung als zukünftige Sanierungsmethode am Standort überprüft.

P 6.17

Temperaturbasierte Abschätzung der Fließraten zwischen Grund- und Oberflächenwasser in „Quasi-Echtzeit“

CHRISTIAN SCHMIDT¹, OLAF BÜTTNER², ANDREAS MUSOLFF¹, JAN FLECKENSTEIN¹

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

² Department Aquatic Ecosystems Analysis and Management, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ

Kontakt: christian.schmidt@ufz.de

Richtung und Geschwindigkeit der Strömung im Flussbett (Exfiltration oder Infiltration) bestimmen maßgeblich die Redoxbedingungen an der Schnittstelle zwischen Grund- und Oberflächenwasser und steuern damit auch Stoffumsatzprozesse. Natürliche Temperaturschwankungen im Flussbett können als Tracer verwendet werden, um die Wasserflüsse und deren Variabilität zu erfassen. Meist wird hierbei die Dämpfung und Phasenverschiebung des täglichen sinus-förmigen Temperatursignals verwendet. Problematisch ist hierbei, dass hydrologisch besonders dynamische und damit interessante Zeiträume häufig irreguläre Temperaturverläufe aufweisen. Wir präsentieren eine integrierte Methodik beginnend der Erfassung der Temperaturdaten, Datenfernübertragung, Datenbankabfrage bis hin zur semi-automatischen Auswertung und Verarbeitung der Temperaturdaten zu Fließgeschwindigkeiten. Kern der Datenauswertung ist inverses eindimensionales numerisches Modell mit dem in quasi-Echtzeit aus den eingehenden Temperaturdaten Fließgeschwindigkeiten ermittelt werden können. Die Verwendung eines numerischen Modells hat gegenüber den häufig angewandten analytischen Lösungen den Vorteil, nicht auf eine tägliche Temperaturschwankung angewiesen zu sein, sondern mit jeglichen Temperaturrandbedingungen umgehen zu können.

P 6.18

Einfluss von influenten und effluenten Bedingungen auf Stofftransport und -umsätze in der hyporheischen Zone

NICO TRAUTH¹, CHRISTIAN SCHMIDT¹, ULI MAIER¹, JAN H. FLECKENSTEIN¹

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

Kontakt: jan.fleckenstein@ufz.de

In der hyporheischen Zone (HZ) finden wichtige biogeochemische Umsetzungsprozesse statt, die von hydraulischen Faktoren, der Sohlstruktur und den Durchlässigkeiten des Flussbettsediments signifikant kontrolliert werden.

Mit einem gekoppelten numerischen Modell werden verschiedene hydraulische Bedingungen, sowohl im Gerinneabfluss als auch im Grundwasser, simuliert und deren Einfluss auf Strömung

sowie biogeochemische Reaktionen in der hyporheischen Zone untersucht. Dieser Modellansatz wird zum einen auf generische Pool-Riffle Morphologien und zum anderen auf eine reale mid-channel bar angewendet.

Die Flusswasserströmung wird mit OpenFOAM, einer Open-Source Computational Fluid Dynamics - Software (CFD) simuliert und liefert die Druckverteilung an der Flussbett-Randbedingung. Diese Druckverteilung wird als Head-Randbedingung auf das Finite Volumen Modell MIN3P übertragen, womit Stofftransport und Reaktionen simuliert werden. Über die obere Flussrandbedingung werden bioverfügbarer Kohlenstoff (DOC), Sauerstoff (O_2) und Nitrat (NO_3) eingetragen, die in der HZ durch aerobe Respiration (AR) und Denitrifikation (DN) miteinander reagieren. Des Weiteren wird über die untere Randbedingung Grundwasserzu- oder abstrom berücksichtigt, wodurch die Tiefenausbreitung und die Verweilzeiten in der HZ beeinflusst werden. Unter Grundwasserzustrom erfolgt ein zusätzlicher Stoffeintrag von O_2 und NO_3 in die HZ, welche sich mit DOC aus dem Flusswasser vermischen und reagieren können. Um deren Einfluss auf die Umsetzungsprozesse in der HZ zu untersuchen, werden zusätzliche Szenarien simuliert, in denen das Grundwasser verschiedene Konzentrationen an O_2 und NO_3 aufweist.

Die Ergebnisse zeigen, dass die AR- und DN-Effizienz stark durch zu- oder abströmendes Grundwasser vermindert werden. AR tritt in flachen Bereichen der HZ auf und zehrt 20% bis 90 % des infiltrierenden O_2 aus dem Flusswasser. DN ist auf kleine Bereiche unterhalb der AR-Zone begrenzt und somit werden nur bis zu 20 % des eingetragenen NO_3 abgebaut. Die höchste DN-Effizienz der HZ kann unter geringem Grundwasserzustrom und niedrigen O_2 sowie NO_3 Konzentrationen im Grundwasser erreicht werden. In Bezug auf die Flusswasserqualität wirkt die HZ unter Grundwasserabstrom als eine Nitratsenke, während sie unter Grundwasserzustrom, je nach NO_3 Konzentration im Grundwasser, sowohl als eine Nitratsenke als auch -quelle fungiert.

P 6.19

Spatial and temporal distribution of groundwater-surface water interaction in the Netherlands

*DIMMIE HENDRIKS*¹, HANS PETER BROERS¹, REMCO VAN EK¹, JACCO HOOGEWOUD¹, BERNHARD BECKER¹

¹ Deltares

Kontakt: Dimmie.Hendriks@deltares.nl

The Netherlands, in the delta of Rhine, Meuse and Scheldt, is characterised as a low-lying flat country and has a temperate sea climate. The western and northern low-lying parts of the Netherlands consist of clay and peat soils with high groundwater tables, dense drainage, and a water supply system of ditches. The eastern and southern parts of the country mainly consist of free draining sandy catchments.

The National Hydrological Modelling Instrument of the Netherlands (NHI) simulates the hydrological processes of the Netherlands. Surface water flow is modelled with a water balance model, groundwater flow with MODFLOW, and vadose zone flow with MetaSWAP. This paper focusses on the spatial and temporal dynamics of water exchange between these domains. With

the NHI the following water exchange processes are modelled:

- Infiltration and exfiltration of water from and into surface water bodies;
- Groundwater exfiltration through drainage systems;
- Groundwater exfiltration through saturated overland flow.

We present the groundwater-surface water interchange simulated with NHI for three years, selected based on their meteorological characteristics: the very wet year 1998 with 1238 mm precipitation and 492 mm evapotranspiration; the average meteorological year 2004 with 860 mm precipitation and 568 mm; the very dry year 2003 with only 614 mm precipitation and 635 mm evapotranspiration. Beside monthly maps of the spatial distribution of groundwater-surface water exchange, we present the water exchange in 2003 for five characteristic water systems in detail:

- low lying polders, continuously drained with pumps;
- peat meadow areas;
- areas bordering large rivers;
- free draining areas with a thin unconfined aquifer (2-10 m) and intensive agriculture;
- free draining areas with a thick unconfined aquifer (10-20 m) and extensively used.

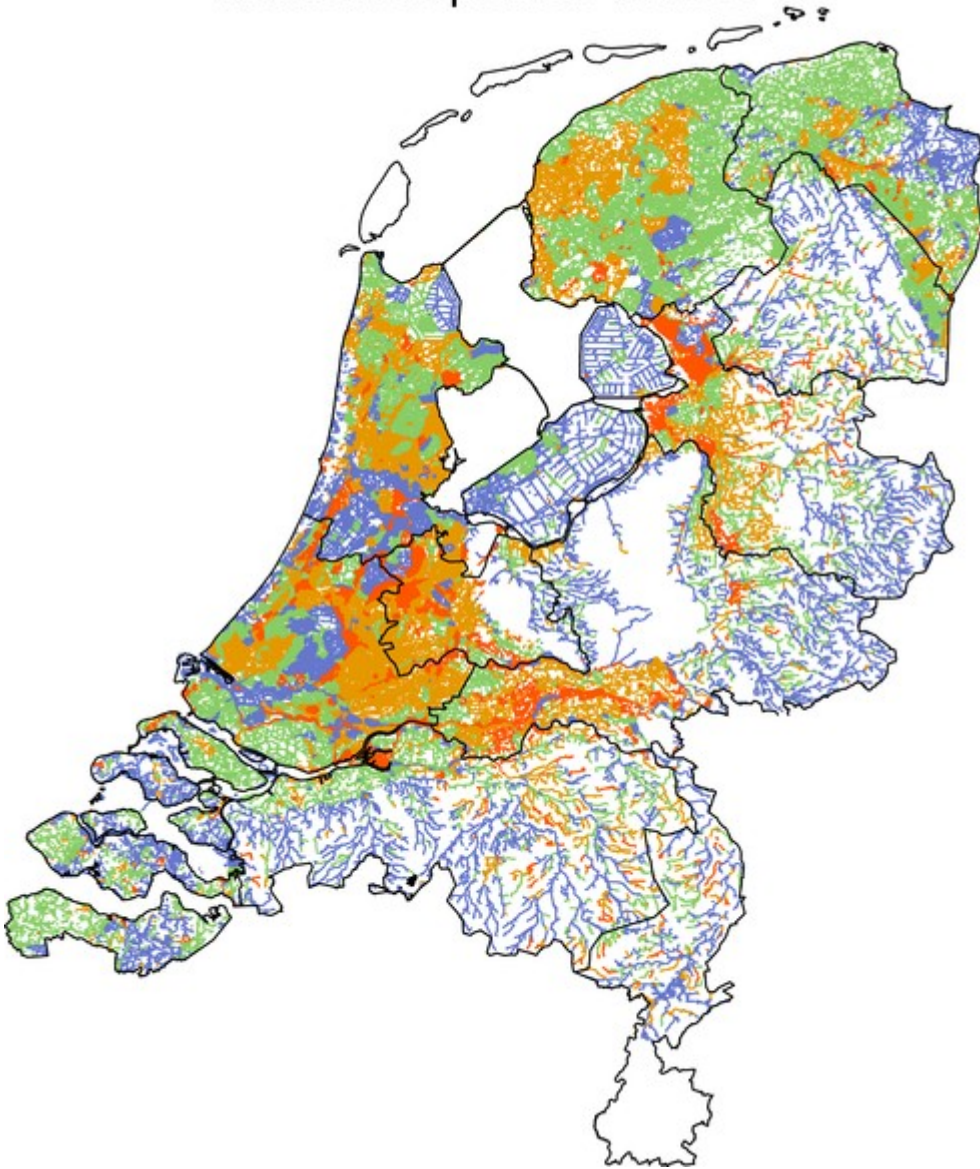
The NHI simulation results showed that groundwater-surface water interaction plays an important role in the whole study area and give a better understanding of the hydrological processes. During the year the amount and type of water exchange varies strongly. Also, the difference between the three years with different meteorological conditions is large: in 1998 (wet year) the exfiltration period lasted eight to ten months in the major part of the study area, whereas in 2003 (dry year) the exfiltration period was only two to seven months. Spatial analyses of the model results show that in particular in areas where a constant water level is maintained (peat meadows and areas bordering rivers) surface waters feed the groundwater in dry periods. In free draining areas, no infiltration of surface water takes place, however dry stream beds occur during summer. In the extensively used areas with thick aquifers groundwater exfiltration is significantly stronger than in the intensively used areas with thin aquifers. Low lying polder areas showed a continuous flux of groundwater to surface water, mainly via the intensive drainage systems.

Hendriks, D. M. D., de Louw, P., van Ek, R.: Effecten van drainage, berekening en klimaatverandering op basisafvoer van beken. In: H2O – tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer (2010), Nr. 6, S. 40-43.

Prinsen, G. F.; Becker, B. P. J.: Application of Sobek hydraulic surface water models in the Netherlands Hydrological Modelling Instrument. In: Irrigation and Drainage 60 (2011), Suppl. 1, S. 35-40.

Rozemeijer, J.; Broers, H. P.: The groundwater contribution to surface water contamination in a region with intensive agricultural land use (Noord-Brabant, The Netherlands). In: Environmental Pollution 148 (2007), Nr. 3, S. 695-706.

Exfiltrationsperiode in 2003



Kartierung der Dauer der Exfiltrationsperiode für das Jahr 2003 (die Exfiltrationsperiode ist die Periode, in Wasser aus dem Untergrund ins Oberflächengewässer fließt)

Die Gefrierkernmethode – ein Erkundungsverfahren zur hydraulischen Charakterisierung von Sohlsedimenten

DANIEL STRASSER¹, HERMANN-JOSEF LENSING¹, NICO GOLDSCHIEDER², SIMON FRANK, DOMINIK RICHTER

¹ Referat Grundwasser, Bundesanstalt für Wasserbau

² Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: daniel.strasser@baw.de

Die Prognose von Veränderungen der Grundwasserverhältnisse ist bei Ausbau-, Unterhalts- und Renaturierungsmaßnahmen an Wasserstraßen und anderen Gewässern ein wichtiger Aspekt und elementarer Bestandteil von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen. Der Gewässersohle kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu, da die hydraulischen Eigenschaften der Sohlsedimente den Wasser- und Stoffaustausch zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser maßgeblich beeinflussen. Deshalb gilt es, die Beschaffenheit der Gewässersohle möglichst genau zu erkunden. Die Gefrierkernmethode ermöglicht eine ungestörte Probenahme von gefügeintakten Sedimenten und somit die Untersuchung der Porenraumstruktur an der Grenzfläche zwischen Grund- und Oberflächenwasser. Mit entsprechender Gerätetechnik können Sohlsedimente bis zu einer Tiefe von 1,5 m entnommen werden, womit ein großer Teil des hydraulisch wirksamen Kolmationsbereichs erfasst werden kann.

Im Rahmen eines Projektes der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) zur Analyse der Austauschprozesse zwischen Oberflächengewässern und dem angeschnittenen Grundwasserleiter wurden in drei Probenahmekampagnen insgesamt 50 Gefrierkerne aus dem Sacrow-Paretzer Kanal bei Potsdam entnommen. Hierbei stand die Untersuchung der räumlichen Variabilität der hydraulischen Durchlässigkeit (vertikal und horizontal) der entnommenen Sedimentproben im Fokus der Betrachtungen. Bei Untersuchungen zur Anisotropie der Durchlässigkeitseigenschaften wurden aus den Gefrierkernen tiefen- sowie richtungsorientiert Sonderproben mittels Stechzylindern entnommen. An diesen wurde im Labor die hydraulische Leitfähigkeit durch Permeameterversuche ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden mit aus der Kornverteilung bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerten derselben Sedimente verglichen. Hierbei ergab sich bei den vertikal orientierten Stechzylinderproben eine um bis zu drei Größenordnungen geringere hydraulische Durchlässigkeit als bei den aus der Kornverteilung ermittelten Werten. Diese Diskrepanz kann teilweise durch die Anisotropie erklärt werden, deutet aber auch auf die Anwesenheit von hydraulischen Widerständen, beispielsweise abdichtenden Biofilmen, hin. Auf Grundlage der vertikal und horizontal orientiert entnommenen Stechzylinderproben konnte die Anisotropie für unterschiedliche Tiefenhorizonte ermittelt werden. Hierbei wurde ein Anisotropie-Faktor bis zu 20 festgestellt.

Im Vergleich zu anderen Untersuchungsmethoden bietet das Gefrierkernverfahren die Möglichkeit, direkte und detailliert aufgelöste Informationen über die hydraulischen Leitfähigkeiten zu erhalten. Darüber hinaus bietet diese Methode das Potential, geochemische und mikrobiologische Prozesse in der Gewässersohle bzw. Kolmationsschicht an ungestörten Proben zu studieren.



aus der Sohle des Sacrow-Paretzer Kanals entnommener Gefrierkern

P 6.21

Gekoppeltes 1D-Oberflächenströmungs- und 3D-Grundwassermodell Speicher Jemgum

*BERTRAM MONNINKHOFF*¹, *CHRISTIAN TOMSU*¹, *THOMAS KOCH*¹, *KARSTEN KÖNIG*²

¹ **DHI-WASY GmbH**

² **astora GmbH & Co. KG**

Kontakt: jlu@dhi-wasy.de

Die WINGAS GmbH und die EWE GASSPEICHER GmbH errichten in der Gemeinde Jemgum, Kreis Leer und in Nüttermoor, Stadt Leer Kavernen zur Speicherung von Erdgas. Diese werden in einer Teufe von 950 m bis 1.550 m durch Auflösen des dort anstehenden Steinsalzes hergestellt. Die Kavernen unterliegen Konvergenzvorgängen, die sich an der Oberfläche als Senkungen um die Kavernen, bzw. des gesamten Kavernenfeldes ausbilden. Die Konvergenzraten wurden vom Auftraggeber vorgegeben.

Das Gebiet um das Kavernenfeld ist eine Kulturlandschaft, welche durch intensive Entwässerung geprägt ist. So leiten verschiedene Siele das Oberflächenwasser und das Grundwasser über Siel- und Schöpfwerke in die Ems als überregionalen Vorfluter ab. Durch die Oberflächensenkungen können diese Vorgänge beeinflusst werden.

Diese Beeinflussung zu quantifizieren und die Auswirkungen auf den Grundwasserflurabstand durch geeignete, möglichst passive Maßnahmen zu minimieren war das Ziel der durchgeführten Untersuchungen, die die DHI-WASY für die WINGAS GmbH und die EWE GASSPEICHER GmbH durchgeführt hat.

Auf Grundlage vorhandener Grundwassermodelle für das Modellgebiet wurde ein neues 3D FEFLOW Grundwassermodell mit einer Gebietsgröße von 482 km² aufgebaut und stationär kalibriert. Zusätzlich erfolgte eine Kopplung an einem ebenfalls neu aufgebauten und auf der Basis von Profilaufnahmen und Bauwerksinformationen präzisierten MIKE11 Oberflächenwassermodells (1D). Hierbei konnte auf die bei mehreren Projekten aufgebaute Erfahrung bei der Kopplung der beiden Modelle zurückgegriffen werden.

Die Berechnungen mit diesem gekoppelten Modellsystem haben gezeigt, dass durch die Geländeabsenkungen mit einer erheblichen Verringerung der Grundwasserflurabstände zu rechnen ist. Dabei können großflächig Oberflächenvernässungen und sogar Geländeüberflutungen auftreten.

Mit dem gekoppelten Modellsystem wurden verschiedene Lastfälle untersucht, die die Bewirtschaftung der Wehre / Schöpfwerke im Gebiet und die zusätzliche Anbindung der Oberflächengewässer berücksichtigt haben. Ziel war es dabei, die heutigen Grundwasserflurabstände wiederherzustellen und dabei auf aktive Grundwasserregulierungsmaßnahmen (z.B. Einsatz von Entnahmebrunnen) zu verzichten.

Im Ergebnis aller Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass durch die geschickte Kombination geeigneter Maßnahmen die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und den Grundwasserflurabstand deutlich minimiert werden könnten.

Die Ergebnisse wurden an mehreren Terminen mit den betroffenen Bürgern und Autoritäten vorgestellt und diskutiert und haben zu einem besseren Verständnis der Problematik beigetragen.

In einem weiteren Schritt sind Untersuchungen zu einer Optimierung der geplanten Wehre und Sohlschwellen, auch unter Berücksichtigung einer saisonalen Steuerung der Wasserstände im Gebiet angedacht.

P 6.22

Schutzwürdige Böden – ein Anwendungsbeispiel für Planung, Boden- und Grundwasserschutz im westlichen Ruhrgebiet

DETLEF RIEGER¹, PATRICIA SCHÜLL¹, CHRISTINA UFER¹, CHRISTIANE HELLMANN²

¹ Lippe Wassertechnik GmbH

² Emschergenossenschaft

Kontakt: schuell@ewlw.de

Mit dem BBodSchG wurde ein Gesetz geschaffen, das den Schutz des Bodens in den Mittelpunkt stellt. Gemäß §1 sollen Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen vermieden werden. Das LBodSchG NRW ermöglicht, Bodenschutzgebiete gem. § 21 Abs. 3 BBodSchG auszuweisen, „um besonders schutzwürdige Böden ... zu schützen“.

Das BauGB §1a Abs. 2 fordert sparsamen Umgang mit Grund und Boden (Vorsorgeprinzip). Nach §3 Abs. 2 Nr. 10 ist die Flächenausweisung zum Bodenschutz möglich. Bei Aufstellung/Änderung von Bebauungs-/FLN-Plänen sind Belange des Bodenschutzes in die planerische Abwägung einzustellen. Vorhabensbezogen gilt die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung (BNatSchG §18) entsprechend in einer UVP nach UVPG. Die kommunale Umsetzung erfolgt durch die Unteren Bodenschutzbehörden.

Die hauptsächlichen Funktionen des Bodens gemäß §2 Abs. 2 BBodSchG sind

- Lebensgrundlage/-raum für Menschen,
- Bestandteil des Naturhaushalts, besonders der Wasser-/Nährstoffkreisläufe,
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund Filter-, Puffer-/Stoffumwandlungseigenschaften, besonders zum Grundwasserschutz.

Der Grad an Schutzwürdigkeit von Pedotopen wird bewertet nach

- Archivfunktion der Natur-/Kulturgeschichte,
- Biotopotenzial (nasse/trockene Böden),
- Bodenfruchtbarkeit (v.a. landwirtschaftliche Nutzflächen),
- Regelungs-/Pufferfunktion im Wasser-/Stoffhaushalt.

Die Schutzwürdigkeit wird mit

sw0 nicht schutzwürdig,

sw1 schutzwürdig,

sw2 sehr schutzwürdig,

sw3 besonders schutzwürdig klassifiziert.

Für die Grundwasserqualität bedeutend sind die Filter-/Regelungs-/Pufferfunktionen der – ggf. schutzwürdigen – Böden. Die Luftkapazität $LK_{We_{eff}}$ sowie die Kationenaustauschkapazität KAK_{eff} werden zur Beurteilung herangezogen. Das Grundwasserdargebot wird durch die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum $nFKWe$, den k_f -Wert und den Grundwasserflurabstand beurteilt.

Mögliche Schadeinflüsse am Bodenkörper bestehen in Verdichtung, Bodensubstratvermischung, Vernässung/Austrocknung, Verspülung/Verwehung, Eintrag bzw. Mobilisierung von Stör-/Schadstoffen und der Verbringung/Deponierung.

Grundlage des Bodenschutzes im westlichen Ruhrgebiet ist der Regionale Flächennutzungsplan (RNFP). Zwei Themenkarten bewerten die Schutzwürdigkeit der Böden. Im planungsrechtlichen Vollzug, als Grundlage für Bodenschutz beim Bauen und zur Steuerung städtebaulicher Planungen sind diese Daten zu berücksichtigen.

Anwendungsbeispiel: Der RNFP (M 1:50.000) weist am geplanten Standort zweier RRB bei Gelsenkirchen wegen Naturnähe, hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeichervermögen schutzwürdige Böden aus. Dies machte eine detaillierte Bodenkartierung und Eingriff-/Ausgleichsbilanzierung nötig. Sie ergab eine Konkretisierung der Ausweisung (so wegen anthropogener Schadeinflüsse), kleinräumige Abstufung der Schutzwürdigkeit und den Nachweis von Kompensationsflächen.

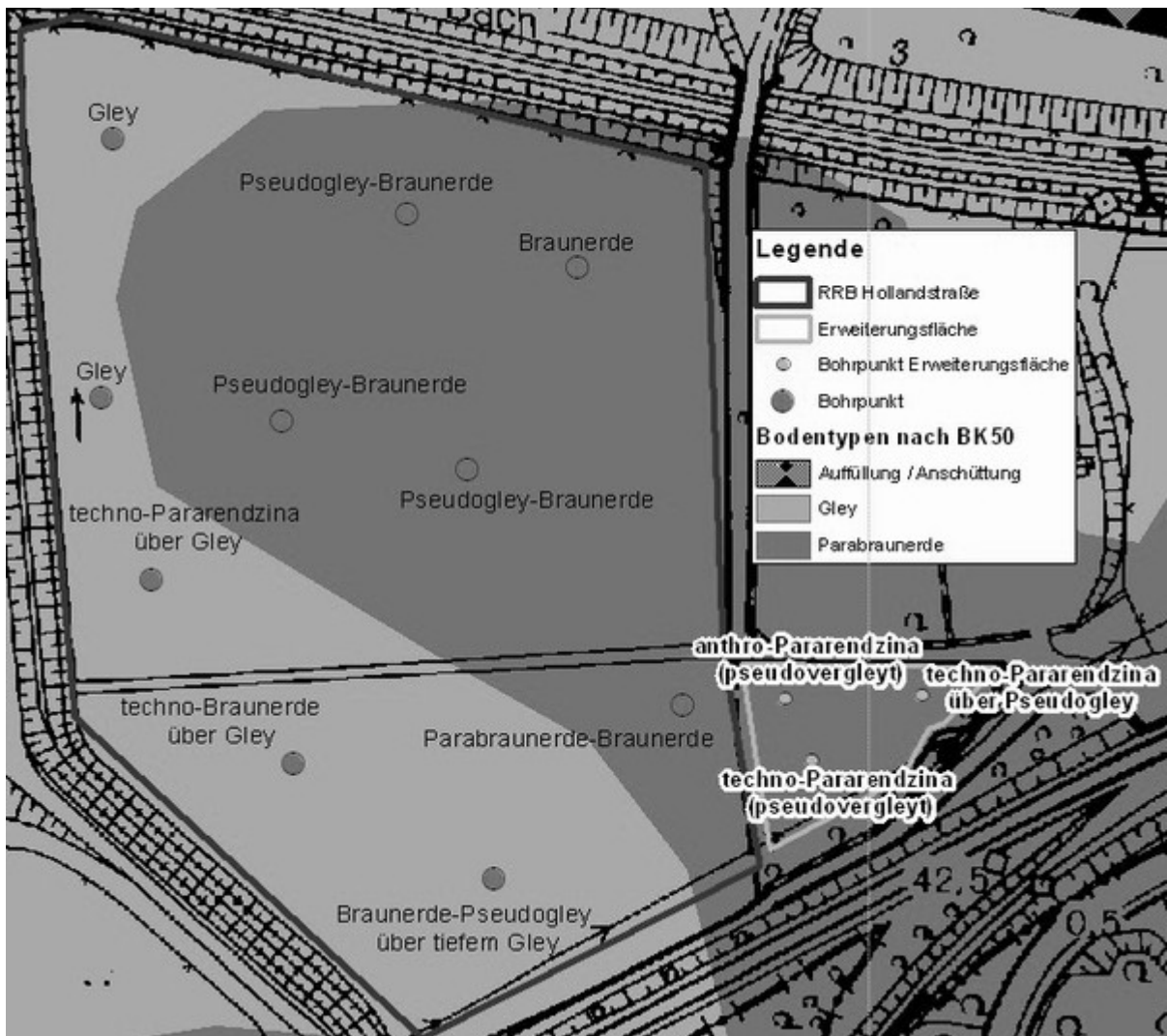


Abb. 1: Anwendungsbeispiel im Rahmen des Emscherumbaus

AD-HOC-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5), 5. verbesserte und erweiterte Auflage. - Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland; Hannover

Arbeitsgruppe Fachteam Boden (2010): Arbeitshilfe für die Unteren Bodenschutzbehörden zur Berücksichtigung der Bodenfunktionen in der naturschutzrechtlichen Eingriffs-/Ausgleichsbewertung. - (Stand 24.08.2010)

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Art. 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214)

Bundesverband Boden (2013): Bodenkundliche Baubegleitung BBB. - BVB-Merkblatt Band 2; Berlin

Hölting, B. & Coldewey W.G. (2012): Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. - 8. Auflage; Mainz, Münster

Städteregion Ruhr (2009): Regionaler Flächennutzungsplan (RNFP) der Städte Bochum, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Mülheim an der Ruhr, Oberhausen

8 Geothermal energy und geocooling

Oral Presentations

O 8.1: H18, NW II, 29.05.2014, 10:00-10:20

Ansatz zur optimierten Bewirtschaftung intensiv geothermisch genutzter Flächen - Vorerkundung und Szenarienanalyse

SOPHIE SCHELENZ¹, LINDA FIRMBACH¹, HAIBING SHAO², OLAF KOLDITZ³, PETER DIETRICH⁴, THOMAS VIENKEN¹

¹ Department Monitoring- und Erkundungstechnologien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Leipzig

² Department Umweltinformatik, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig

³ Department Umweltinformatik, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig; Technische Universität Dresden

⁴ Department Monitoring- und Erkundungstechnologien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig; Eberhard Karls Universität Tübingen

Kontakt: sophie.schelenz@ufz.de

Das steigende Interesse an der Anwendung flacher Geothermie zur Wärmebereitstellung führt insbesondere im urbanen Raum zu einer Zunahme der Dichte der geothermischen Anlagen und intensivierten Nutzung des Untergrundes als thermische Ressource. Gegenwärtig beschränkt sich die Anwendung flacher Geothermie zum Heizen bzw. Kühlen von Wohngebäuden größtenteils auf die Nutzung von grundstücksbezogenen Einzelanlagen. Dabei gibt der genehmigungsrechtliche Rahmen bei Anlagen < 30 kW keine standortspezifische Vorerkundung als Grundlage zur Anlagenplanung und –dimensionierung vor. Da die Kosten für eine standortspezifische Vorerkundung für einzelne Grundstücke zu hoch wären, dienen in der Praxis primär Literaturangaben und Informationen aus geologischen Karten zur Bewertung des geothermischen Potentials (VDI, 2010).

Ziel der Untersuchungen ist die Erprobung eines Konzeptes zur grundstücksübergreifenden Erkundung von potentiellen Geothermiestandorten an einem Fallbeispiel. Grundansatz der Vorerkundung ist die Kopplung von flächenhaften geophysikalischen Profilmessungen mit punktuellen, vertikal hochauflösenden Direct Push-Messungen. Neben dieser

Untergrundparametrisierung wurde das geothermisch unbeeinflusste Temperaturregime durch Temperaturmessungen in temporären Direct Push-Grundwassermessstellen charakterisiert. Diese grundstücksübergreifende, standortspezifische Datengrundlage ermöglicht eine individuelle Anlagenplanung und minimiert das Risiko von negativen Umweltauswirkungen und unerwünschten Wechselwirkungen zwischen den Anlagen.

Die erhobenen Daten sollen in weiterführenden Untersuchungen als Grundbaustein für eine modellbasierte Analyse verschiedener Nutzungsszenarien dienen. Auf Grundlage eines realitätsnahen Wärmetransportmodells kann beispielsweise die Option der Nutzung des Aquifers als saisonaler Speicher evaluiert werden. Insgesamt soll die Kombination aus Erprobung einer verbesserten Vorerkundung und modellgestützter Auswertung und Interpretation der Daten einen Beitrag zur Erarbeitung eines Konzeptes zur nachhaltigen thermischen Untergrundnutzung leisten.

Hydraulische Charakterisierung von Aquiferen über den Thermal Response Test: Validierung in Tank- und Feldexperimenten

VALENTIN WAGNER¹, PHILIPP BLUM¹, GERHARD BISCH², KÜBERT MARKUS³, PETER BAYER⁴

¹ **Karlsruher Institut für Technologie (Institut für Angewandte Geowissenschaften)**

² **ARCADIS Deutschland GmbH**

³ **tewag Technologie - Erdwärmeanlagen - Umweltschutz GmbH**

⁴ **ETH Zürich (Geologisches Institut)**

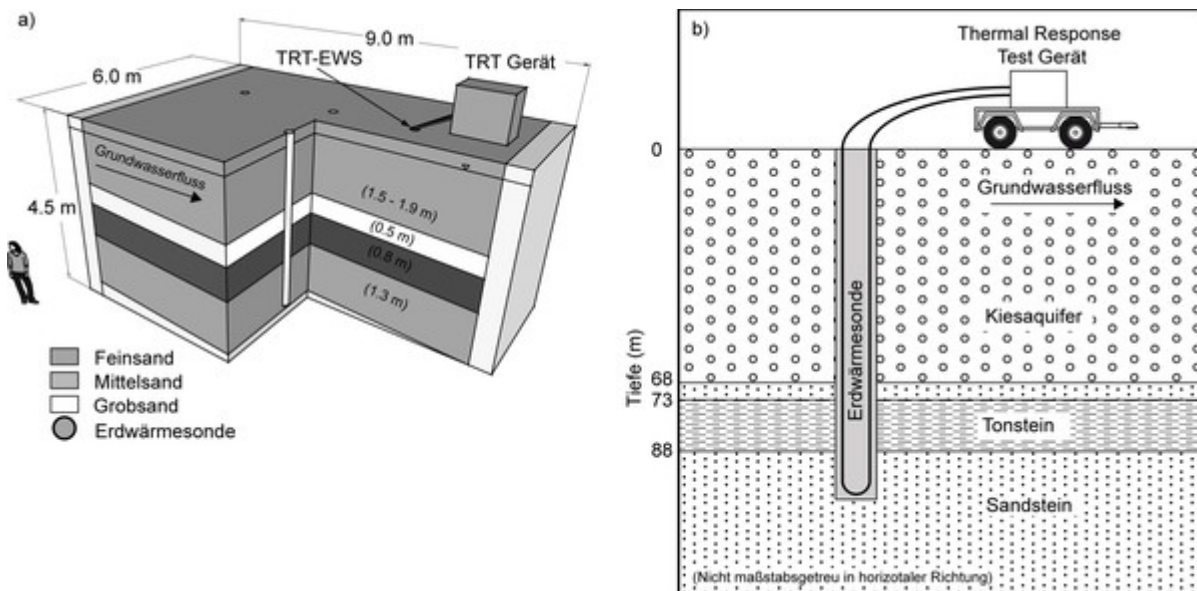
Kontakt: valentin.wagner@kit.edu

Der Thermal Response Test (TRT) ist einer der am weitesten verbreiteten Feldversuche in der Geothermie. Das Ziel eines TRTs ist es, die Interaktion zwischen einer Erdwärmesonde (EWS) und dem Untergrund zu bestimmen. Dabei wird mit einer EWS Wärme in den Untergrund eingebracht. Die Wärmeträgerfluidtemperatur wird standardisiert mit der Kelvinschen Linienquellentheorie ausgewertet, um die effektive thermische Leitfähigkeit des Untergrundes und den Bohrlochwiderstand der EWS zu bestimmen. Bei dieser Auswertung wird angenommen, dass sich Wärme rein konduktiv ausbreitet. In Grundwassergebieten kann zur Konduktion die Advektion als Transportprozess hinzukommen. Da der zusätzliche advective Beitrag jedoch bei der Standardauswertung nicht aufgelöst wird, spiegeln sich signifikante Grundwasserfließgeschwindigkeiten in einer Überschätzung der eigentlichen thermischen Leitfähigkeit durch die effektive thermische Leitfähigkeit wider.

Wird nun die „Moving line source“ auf die gemessenen Temperaturen angepasst, kann auf die Grundwasserfließgeschwindigkeit rückgeschlossen werden. Trotzdem reicht eine einfache Parameteranpassung nicht aus, um eine korrekte Geschwindigkeit zu bestimmen. Dies liegt am hydraulischen Einfluss der EWS-Hinterfüllung, die eine deutlich geringere hydraulische Durchlässigkeit als der Aquifer besitzt. Um dies zu berücksichtigen, entwickelten wir unter Verwendung von numerischen Modellen einen Korrekturterm zur Anpassung der mit der „Moving line source“ bestimmten Ergebnisse. Da sich plausible Werte für die thermischen Parameter generell innerhalb von kleinen Spannen bewegen, lässt sich am Modell zeigen, dass der Wert der Filtergeschwindigkeit gut bestimmbar ist. Das heißt, das eigentlich geothermische Felderkundungsverfahren TRT kann bei Kenntnis des hydraulischen Gradienten dafür herangezogen werden, um eine tiefengemittelte hydraulische Leitfähigkeit des Untergrundes zu bestimmen.

Um die Auswertemethode zu validieren, werden zwei advektiv beeinflusste TRT-Datensätze herangezogen. Von beiden Standorten ist die hydraulische Durchlässigkeit bekannt. Ziel ist nun, diese Werte mit jenen der neuen TRT Auswertung zu vergleichen. Für den ersten TRT wird ein Tankversuch gewählt. In diesem Tankexperiment wurde ein geschichteter Aquifer nachgebildet (Abb. 1a). Der hydraulische Gradient kann in diesem Tank eingestellt werden. Der Standort des zweiten Experiments befindet sich in Schwanau (Baden Württemberg). Für die Durchführung dieses TRTs wurde eine 100 m tiefe EWS verwendet, die einen 68 m mächtigen Aquifer durchteuft

(Abb. 1b). Die neue TRT-Auswertung ergibt jeweils hydraulische Durchlässigkeiten, die sich mit den Wertebereichen der hydraulischen Vergleichsmessungen decken. Die erfolgreiche Validierung zeigt, dass grundwasserbeeinflusste TRT-Datensätze nun verlässlich ausgewertet werden. Für viele der mehr als 1500 in Deutschland bisher durchgeführten TRTs ist es nun möglich, zusätzlich Grundwasserfließgeschwindigkeiten zu quantifizieren.



Schematischer Überblick über die beiden Experimente, die zur Validierung der neuen Auswertemethode verwendet wurden. a) TRT in einem geothermischer Großtankversuch; b) TRT an einer realen Erdwärmesonde (nach Wagner et al. (2014)).

Wagner, V., P. Blum, M. Kübert, and P. Bayer (2013), Analytical approach to groundwater-influenced thermal response tests of grouted borehole heat exchangers, *Geothermics*, 46(0), 22-31, doi: 10.1016/j.geothermics.2012.10.005.

Wagner, V., P. Bayer, G. Bisch, M. Kübert, and P. Blum (2014), Hydraulic characterization of aquifers by thermal response testing: validation by large scale tank and field experiments, *Water Resources Research*, eingereicht.

O 8.3: H18, NW II, 29.05.2014, 10:40-11:00

Anwendung numerischer Simulationen bei der Planung von Erdwärmeanlagen am Beispiel von Infrastrukturprojekten in Österreich

ANDREAS DARSOW¹, JOHANN HOFINGER¹

¹ iC consulenten ZT GmbH

Kontakt: a.darsow@ic-group.org

Im Zuge des Neubaus des Projektes „Wien Hauptbahnhof“ sollte ein innovatives und regeneratives Energiekonzept zum Heizen und Kühlen des gesamten Bauwerks zum Einsatz kommen. Zur Abdeckung des Heiz- (ca. 3500 MWh) und Kühlbedarfes (ca. 500 MWh) wird Erdwärme aus erdberührten Bauteilen der Verkehrsstation genutzt. Dazu wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie numerische Simulationen durchgeführt, um sowohl auf Basis der im Vorfeld durchgeführten Thermal Response Tests die thermischen Ansätze für die Anlagendimensionierung

zu überprüfen, als auch auf Basis der Simulationsergebnisse Empfehlungen für die Ausführungsplanung aufzuzeigen sowie die Einflüsse der geplanten Anlage auf den Untergrund sowie benachbarte Grundwassernutzungen im eng bebauten innerstädtischen Raum abzuschätzen.

Eine wesentliche Grundlage bildet die Gebäudesimulation, durchgeführt von *arsenalresearch*-Nachhaltige Energiesysteme. Diese Gebäudesimulation lieferte die mit den Jahreszeiten variierenden Ausgangsdaten für die erforderlichen Heiz- und Kühlenergiemengen sowie die variablen Temperaturverhältnisse in der Garage, unter welcher die Absorberelemente angeordnet sind.

Für den Entzug der Erdwärme wird die so genannte Massivabsorbertechnologie eingesetzt, bei der erdberührte Bauteile, welche ohnehin aus statischen Gründen hergestellt werden müssen, thermisch aktiviert werden. Im gegenständlichen Fall werden Bohrpfähle, Schlitzwände sowie ein Großteil der Bodenplatte als Absorberbauteile genutzt.

In diesen Bauteilen wurden Absorberleitungen verlegt, in denen im Betrieb ein Wärmeträger zirkuliert und die Erdwärme bzw. Erdkühle zu den Wärmepumpen bzw. Kältemaschinen transportiert

Für die Simulationsberechnungen wurde das auf der Finite-Elemente-Methode basierende Programm Comsol Multiphysics[®] verwendet. Mit diesem Programm ist es möglich, an zwei- und dreidimensionalen Modellen, gekoppelte physikalische Vorgänge transient zu simulieren.

Durch die Ergebnisse der Simulation wird der Einflussbereich des Wärmetzuges durch die Absorberelemente auf den umgebenden Erdkörper deutlich.

In Bereichen des relativ dichten Wiener Tegels, in dem nur sehr lokal Grundwasser vorhanden ist, sind die thermischen Einflusszonen relativ gering. Für die Bereiche des quartären Kieses konnten jedoch großräumigere Beeinflussungen dargestellt werden. Dies ist im Bereich des neuen Hauptbahnhofes Wien von besonderem Interesse, da bei benachbarten Bauwerken ebenfalls eine Erdwärmennutzung ausgeführt werden sollte.

In ähnlicher Weise wie am Hauptbahnhof Wien wurden unter anderem auch am Hauptbahnhof Salzburg sowie am Bahnhof Attnang-Puchheim Erdwärmeeinrichtungen über die vorhandenen Gründungselemente eingebaut, wobei zusätzlich Erdwärmesonden verwendet wurden.

O 8.4: H18, NW II, 29.05.2014, 11:20-11:40

Sensitivitätsanalyse von BHT-Korrekturverfahren zur Temperaturprognose in der Tiefengeothermie

DANIEL BOHNSACK¹, SUSANNE CASPER¹, KAI ZOSEDER¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

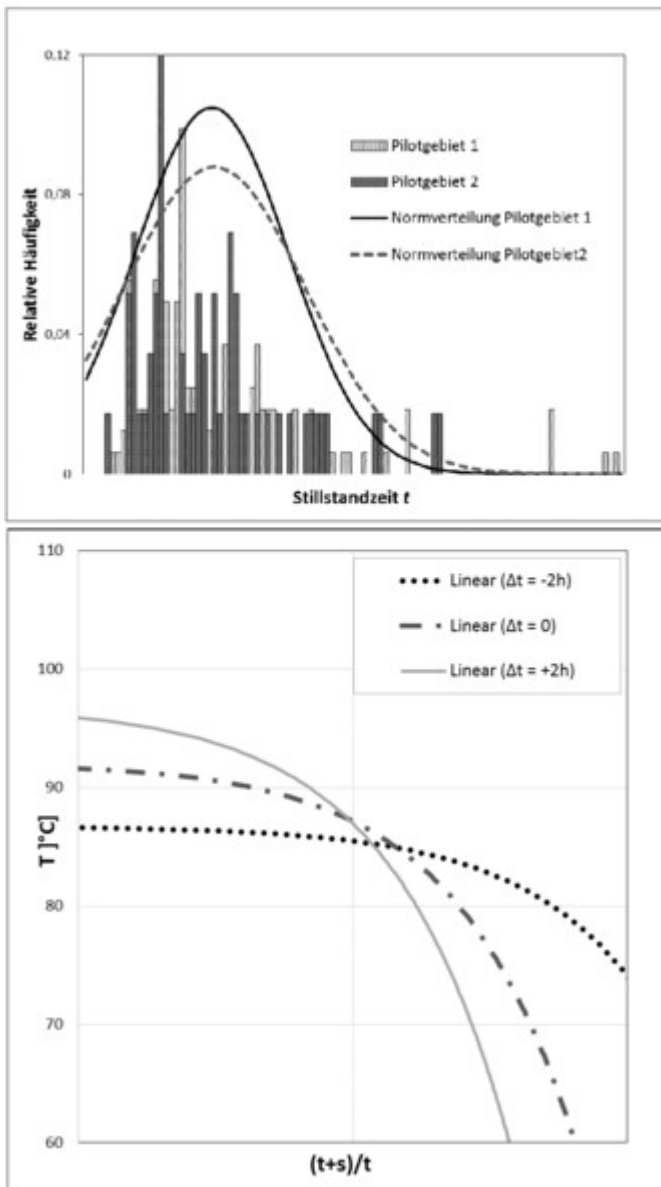
Kontakt: susanne.casper@tum.de

Neue Projekte in der Tiefengeothermie sind häufig abhängig von den zu erwartenden Temperaturen des zu erschließenden Aquifers. Für aussagekräftige Prognosen wird eine ausreichende Grundlage an Daten vieler Bohrungen benötigt, die miteinander in einen regionalen Bezug gesetzt werden können. Die Berechnungen ungestörter Gebirgstemperaturen basieren auf der *bottom hole temperature (BHT)*, die abhängig vom Bohrprozess zu unterschiedlichen

Stillstandzeiten in verschiedenen Tiefenniveaus gemessen wird.

Für die Korrekturverfahren werden einige Parameter benötigt, die häufig in älteren und unvollständigen Datensammlungen fehlen. Für brauchbare Prognosen müssen diese Parameter folglich hergeleitet oder interpoliert werden. Um den Fehler durch ungenaue oder geschätzte Parameter überblicken zu können, ist eine Sensitivitätsanalyse für die betreffenden Parameter nötig.

Basis für alle Korrekturverfahren ist eine genau gemessene Stillstandzeit (t). Bei der statistischen Auswertung der Stillstandzeiten wurde beobachtet, dass es keine einheitlichen Zeitintervalle für die Messungen zu geben scheint und mit statistischen Mitteln keine Stillstandzeiten festgelegt werden können (Abb. Oben). Abweichungen der Stillstandzeit können zu großen Fehlern in der Korrektur führen und sollten daher auch nicht geschätzt werden (Abb. Unten). Die Spüldauer s , die für den Horner-Plot benötigt wird, hat hingegen einen eher geringen Einfluss auf die Korrektur und kann sogar großzügig geschätzt werden.



Oben: Statistische Auswertung der Stillstandzeiten in den Pilotgebieten. Unten: Einfluss auf die Temperatur im Horner-Plot bei Veränderung aller Stillstandzeiten um Δt

Weitere Parameter, die bei Annahme einer Zylinderquelle berücksichtigt werden müssen, sind der Bohrlochdurchmesser r , die Temperaturleitfähigkeit k und die anfängliche Temperaturstörung T_m . Da große Durchmesser zu stark erhöhten Temperaturwerten führen, ist die Anwendung der Zylinderquelle in oberen Abschnitten großzügig teleskopierter Bohrungen meist nicht möglich. Während in einem gewissen Rahmen interpolierte Werte für T_m keine großen Fehler verursachen, spielt die Leitfähigkeit eine entscheidende Rolle. Da für die Leitfähigkeit keine Daten vorhanden sind, wurde meist ein Mittelwert angenommen, was für detaillierte Temperaturprognosen aber zu unpräzise scheint. Es wird daher untersucht, ob die Leitfähigkeit über ein iteratives Verfahren mit Ergebnissen aus dem Horner-Plot besser angepasst werden kann.

Im Rahmen eines Projekts des *Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU)* sollen die Ergebnisse dieser Analyse in die Verfahren einfließen und in einem regionalen Kontext zu detaillierten Temperaturprognosen beitragen.

O 8.5: H18, NW II, 29.05.2014, 11:40-12:00

Anthropogene Wärmeflüsse in das Grundwasser von Karlsruhe und Köln

SUSANNE BENZ¹, PETER BAYER², KATHRIN MENBERG¹, STEPHAN JUNG¹, PHILIPP BLUM¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

² Geologisches Institut, ETH Zürich

Kontakt: susanne.benz@kit.edu

Urbane Wärmeinseln im Untergrund sind bisher nur wenig untersucht und die zugrundeliegenden Prozesse nicht vollständig verstanden. Dennoch sind sie für eine Vielzahl von hydrogeologischen und geothermischen Fragestellungen im urbanen Raum, wie z.B. Grundwasserschutz und geothermische Nutzung (Zhu et al. 2010), von großer Bedeutung.

Viele Ursachen der Erwärmung des urbanen Untergrunds sind anthropogen, z.B. die Wärmeabgabe von Gebäudekellern und Abwasserkanälen. Diese Ursachen und ihre Wirkung je nach Stadt zu erkennen, sie zu klassifizieren und die Wärmetransportprozesse verlässlich zu beschreiben ist fundamental für die Erarbeitung eines nachhaltigen Nutzungskonzepts städtischer Aquifere.

Ziel dieser Arbeit ist es nun, die dominierenden anthropogenen Wärmeflüsse in das oberflächennahe Grundwasser von Köln und Karlsruhe mit unterschiedlichen Methoden zu quantifizieren.

Zur Berechnung der Energiebilanz ziehen wir ein analytisches Wärmetransportmodell heran, das mit Hilfe einer Monte-Carlo (MC) Simulation ausgewertet wird (Menberg et al. 2013). Im Modell werden potentielle Quellen für erhöhte Wärmeeinträge identifiziert und ihre gemeinsame Wirkung abgebildet. Als Referenz wählen wir die Grundwasseroberfläche. In Bezug auf die räumliche Diskretisierung (in 10 m × 10 m Pixeln) werden zwei Ansätze verglichen:

1. Lokale MC (LMC) Methode: ausschließlich die lokale Wärmeabgabe von Gebäudekellern wird flächenhaft berechnet. Diese Variante gibt bei relativ geringem Datenbedarf vereinfachend Einblick in die Wärmebeiträge.
2. Regionalisierte MC (RMC) Methode: alle dominierenden Wärmeflüsse werden räumlich abhängig betrachtet, und für jeden Pixel des Untersuchungsgebiets wird eine MC Simulation zur

Bestimmung der verschiedenen Wärmeflüsse durchgeführt. Durch dieses aufwendigere Verfahren kann die räumliche Verteilung der Wärmestromdichte besser aufgelöst werden.

Die Summe der anthropogenen Wärmeeinträge beträgt für Karlsruhe mit der LMC Methode 52 ± 37 MW und mit der RMC Methode $48,7 \pm 8,1$ MW. In Köln führen vergleichsweise hohe Flurabstände zu einem niedrigeren Temperaturgradienten: es ergibt sich mit der LMC Methode 33 ± 31 MW und mit der RMC Methode $34,6 \pm 9,3$ MW.

In beiden Städten sind Wärmeflüsse aus Gebäudekellern (Karlsruhe: $7,0 \pm 2,1$ MW; Köln: $12,2 \pm 3,6$ MW) und durch erhöhte Oberflächentemperaturen (Karlsruhe: $24,5 \pm 7,5$ MW; Köln: $9,1 \pm 2,7$ MW) die dominierenden.

In Karlsruhe zeigt die RMC Methode jedoch, dass bezogen auf den lokalen Wärmefluss punktuelle Kühlwassereinleitungen zu den höchsten Wärmestromdichten von bis zu $19,5 \text{ W/m}^2$ führen (Abb.1).

Die Gegenüberstellung der beiden Methoden zeigt, dass sich zwar durch eine räumlich hochaufgelöste Betrachtung (RMC Methode) die Beschreibungsunsicherheit verringern lässt, aber auch ein einfacher MC Ansatz (LMC Methode) zu vergleichbaren Ergebnissen führt. Die räumliche Berechnung der Wärmeflüsse ist allerdings wertvoller für die Entwicklung eines regionalisierten, geothermischen Nutzungskonzepts.

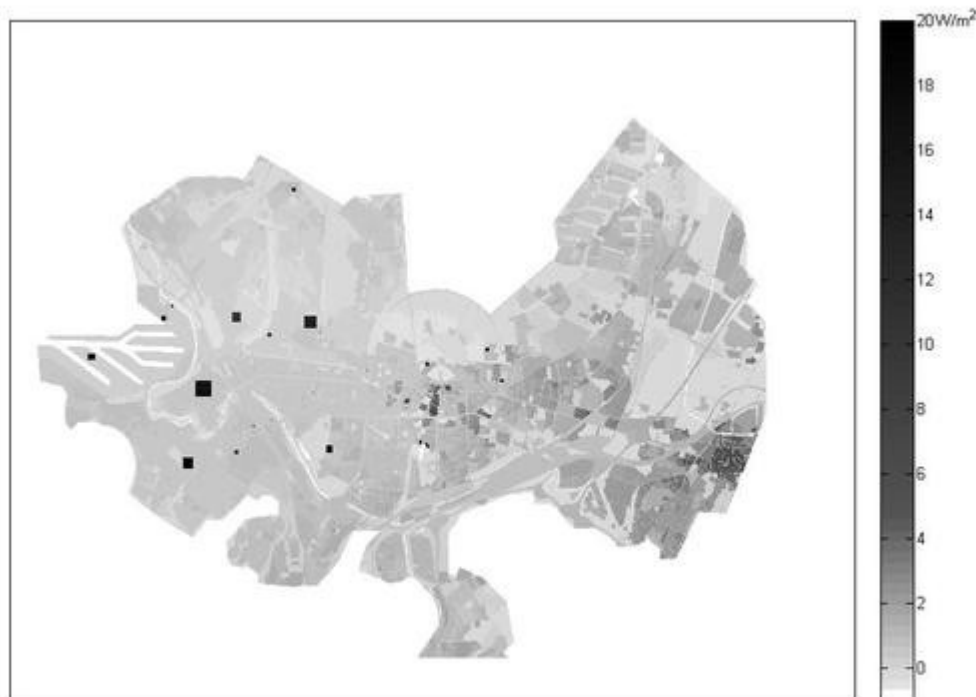


Abb.1: Anthropogener Wärmefluss in das Grundwasser von Karlsruhe. Die Kühlwassereinleitungen im Westen der Stadt führen zu den höchsten Wärmestromdichten von bis zu $19,5 \text{ W/m}^2$.

Menberg, K., Blum, P., Schaffitel, A., & Bayer, P. (2013): Long-Term Evolution of Anthropogenic Heat Fluxes into a Subsurface Urban Heat Island. *Environmental Science & Technology* 47: 9747–9755.

Zhu, K., Blum, P. Ferguson, G., Balke, K.-D. & Bayer, P. (2010): The geothermal potential of urban heat islands. *Environmental Research letters* 5: art. no. 044002

Modellmäßige Bewertung des Potentials von saisonaler Grundwasserwärmespeicherung als Ökosystemdienstleistung für die Hauptstadtregion Brüssel, Belgien

CHRISTIAN ANIBAS¹, MARIJKE HUYSMANS¹

¹ Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel

Kontakt: canibas@vub.ac.be

Urbane Gebiete zeichnen sich durch einen räumlich stark konzentrierten Energieverbrauch aus, der eine relative hohe Umweltbelastung einschliesslich der Atmosphäre, des Bodens und des Grundwassers bedingt. Angesichts der Herausforderungen bezüglich globaler Erwärmung und der damit anstehenden Energiewende muss untersucht werden welche Beiträge verdichtete Gebiete zu leisten vermögen. Ein Baustein dazu ist die Nutzung von Aquiferen als Ökosystemdienstleistung zur Wärmeproduktion und Speicherung. Dieses Potenzial kann unmittelbar zu einer Einsparung von elektrischer Energie und mittelbar auch zur Verbesserung der Luft- und Grundwasserqualität (Zuurbier, 2013) führen.

Wir untersuchen das Potential von Grundwasserwärmepumpen (auch als Wasser-Wasser-Wärmepumpen bekannt) und saisonaler Grundwasserwärmespeicherung für die Hauptstadtregion Brüssel, Belgien anhand von Fallstudien. Aufgrund ihrer hohen Leistungsfähigkeit sind saisonale Grundwasserwärmespeicher besonders für grosse Abnehmer interessant, wie etwa Bürogebäude, Krankenhäuser, Universitäten und Einkaufszentren. Diese im offenen Kreislauf ausgeführten Anlagen entnehmen dem Untergrund Grundwasser, entziehen oder fügen ihm saisonal abhängig Wärmeenergie zu, die zum Kühlen oder Heizen der Gebäude dient. Wichtig ist dabei die Qualität des Grundwassers, da Verockerung oder Eisen- und Manganoxidierung zu Kolmation und damit Leistungseinbussen führen können.

Das bislang bekannte Nutzungspotenzial von saisonaler Grundwasserwärmespeicherung im Gebiet der Hauptstadtregion Brüssel basiert auf einer geologischen Eignungskartierung durch VITO (2007). Die Hauptstadtregion ist geologisch zweigeteilt. Während im Osten des Gebietes die Brüsseler Sande vorherrschen, ein 20-40 m mächtiger Aquifer der sich gut für die geothermische Nutzung eignet, bietet der Westen weniger günstige Voraussetzungen. Als Erweiterung dazu führen wir integrierte numerische Grundwasser-, Wärmetransport- und geochemische Modelle für einige repräsentative Standorte ein.

Diese kleinräumigen Modelle im Umfang von einigen km² bestimmen die maximale Ausbeute von saisonaler Grundwasserwärmespeicherung und untersuchen deren Interaktion mit anderen geothermischen Anlagen oder konkurrierenden Grundwassernutzern. Während geo-chemische Analysen das Kolmationsrisiko und mögliche qualitative Auswirkungen auf den Aquifer und das Grundwasser abschätzen, dienen ökologische und ökonomische Bilanz- und Ertragsrechnungen dazu die Effekte von saisonaler Grundwasserwärmespeicherung auf die Umwelt und Wirtschaft zu bestimmen.

Gerichtet an Sachverständige und Entscheidungsträger liefert diese Analyse eine detaillierte Grundlage für die Wärmeproduktion und Speicherung in den Grundwasserkörpern der gesamten Hauptstadtregion als eine Ökosystemdienstleistung (Bonte, 2011). Damit können die von Projektentwicklern gewünschten praktischen Ausführungsrichtlinien für Bau und Einsatz von Grundwasserwärmepumpen in den Brüsseler Sanden formuliert werden.

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.

VITO (2007): Studie van de geothermische en hydrothermische technieken die toepasbaar zijn in Brussel: wettelijke context, milieu-impact, goede praktijk en economisch potentieel (in Niederländisch), Mol, Belgien.

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.

O 8.7: H18, NW II, 29.05.2014, 12:20-12:40

Biogeothermie - Wirkt sich der Nutzwärmeentzug auf Prozesse und Eigenschaften kontaminierter Aquifere aus?

ROBERT LEHMANN¹, KAI UWE TOTSCHKE¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Burgweg 11, D-07749 Jena

Kontakt: ro.lehmann@uni-jena.de

Grundwasserkörper und Böden, die mit organischen Schadstoffen kontaminiert sind, zeigen natürliche Selbstreinigungsprozesse, z.T. durch deutliche Temperaturerhöhung an. Mittels Techniken der oberflächennahen Geothermie kann diese zusätzliche Wärmequelle z.B. der Effizienzsteigerung von Wärmepumpensystemen zur Wärmeerzeugung dienen. Die Nutzung sollte dabei nachhaltig und ohne negative Folgen für Transformationsprozesse (wie z.B. natürliche Selbstreinigungsprozesse), hinsichtlich der stofflichen Beschaffenheit der Schutzgüter sein. Im Rahmen eines F+E-Verbundprojektes Biogeothermie, finanziert durch die Thüringer Aufbaubank, wurde das Potenzial der thermischen Nutzbarkeit kontaminationsbedingter Grundwasserwärmeeinomalien untersucht. An zwei Altstandorten in Thüringen (Rositz) und Sachsen-Anhalt (Krumpa) wurden hierzu Testfelder, bestehend aus Geothermieanlage (Erdwärmesonden, Wärmepumpe) und Monitoringmessnetz eingerichtet. Das Monitoringprogramm (zeitlich hochaufgelöste Wasserstands-/ Grundwasser- und Bodentemperatur-, Grundwasserbeschaffenheitsmessungen, sowie Wettermonitoring), diente der Erfassung betriebsbedingter, hydrogeochemischer und mikrobiologischer Auswirkungen. Vor dem Hintergrund der erfassten natürlichen, standörtlichen Heterogenität konnten für den realisierten Wärmepumpenbetrieb für beide Projektstandorte keine kurzfristigen Veränderungen der hydrogeochemischen und methodisch erfassten mikrobiologischen Grundwasserbeschaffenheit durch die thermische Nutzung festgestellt werden. Die insgesamt hohe mikrobielle Diversität zeigt sich trotz lokaler Unterschiede in der relativen Häufigkeit einzelner Phyla, zumindest bezüglich des Beobachtungszeitraums nicht durch betriebsbedingte Einwirkungen beeinträchtigt.

Die festgestellten Anomalien und Trends sind vor allem mit der Störung durch den Einbau der Erdwärmesonden und Beobachtungsmessstellen zu erklären. Dabei geht mit der hohen Diversität, vermutlich ein hohes Maß an möglicher Resilienz der Grundwasserökosysteme einher, sodass die Funktionen der angetroffenen mikrobiellen Gemeinschaften, wie beispielsweise (Schad-)Stoffabbau, durch die kleinräumigen, bau- und betriebsbedingten Störungen geschlossener, oberflächennaher Geothermieanlagen nicht gefährdet werden.

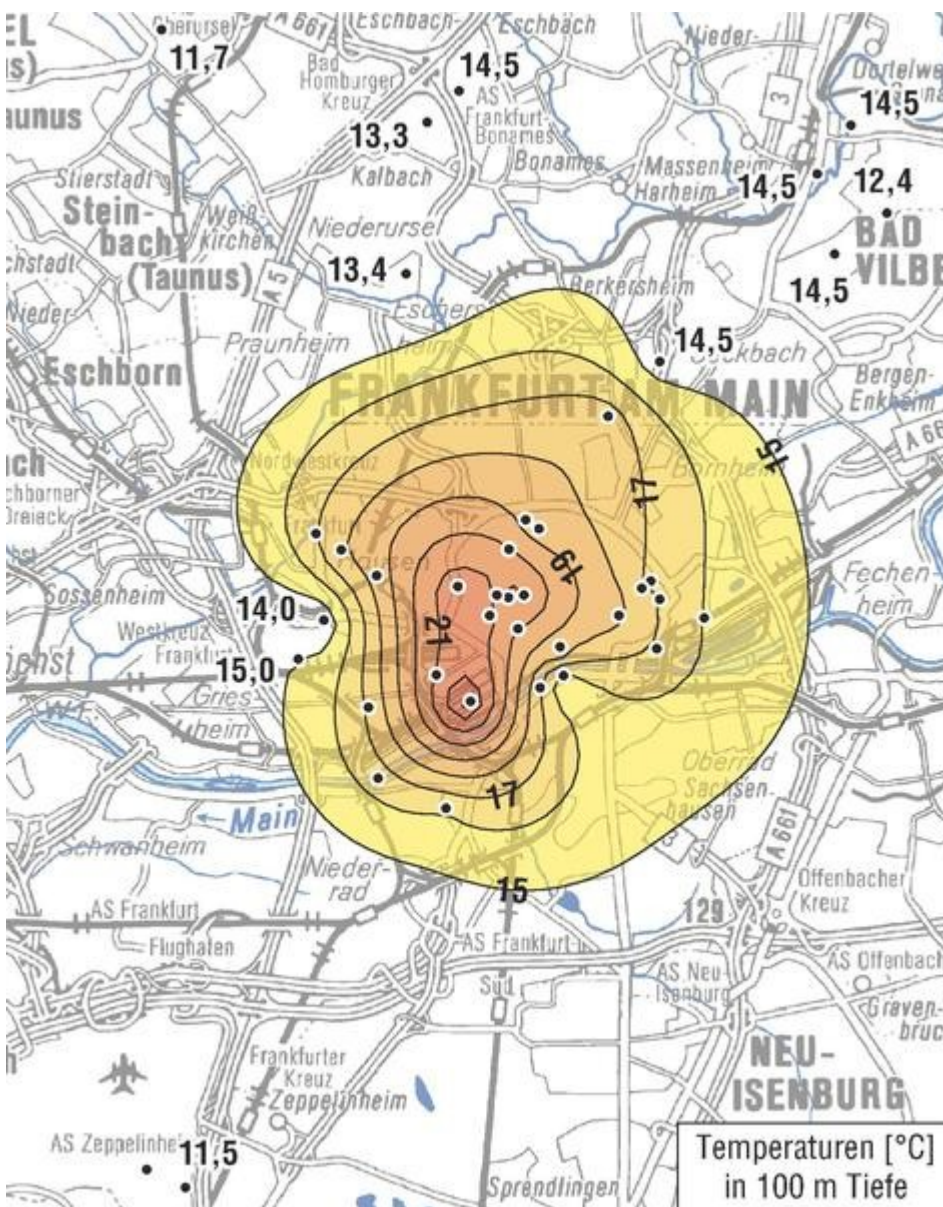
Geothermische Anomalie von Frankfurt am Main

SVEN RUMOHR¹

¹ Abteilung Wasser, Dezernat Hydrogeologie, Grundwasser, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Kontakt: sven.rumohr@hlug.hessen.de

In keiner hessischen Stadt wurden bisher mehr große oberflächennahe geothermische Anlagen errichtet als in Frankfurt am Main: bis Ende 2013 wurden rd. 200 Erdwärmesondenanlagen (EWS-Anlagen) in Betrieb genommen. Der Anteil von Anlagen mit einer Heizleistung von ≥ 30 kW, die gemäß VDI 4640 als „große Anlagen“ eingestuft werden, liegt hierbei mit $> 25\%$ deutlich über dem anderer großer Städte in Hessen wie Wiesbaden, Kassel oder Fulda (jeweils $< 10\%$) bzw. dem landesweiten Anteil ($< 7\%$)



Temperaturen (°C) in 100 m Tiefe

Die im Innenstadtgebiet von Frankfurt gemessenen Untergrundtemperaturen von rd. 20 °C in 100 m Tiefe und bis zu 26 °C in rd. 150 m Tiefe machen die Stadt hierbei zu einem „heißen Pflaster“ der oberflächennahen Geothermie

Hinweise auf hohe Untergrundtemperatur im Frankfurter Stadtgebiet gab es in der Vergangenheit bei vereinzelt Wassererschließungsbohrungen ab dem Jahr 1894 wiederholt. Aufgrund der hohen Temperatur und eines gleichzeitig hohen Lösungsgehaltes wurden diese Bohrungen in fast allen Fällen aufgegeben, wie dies für eine Brauchwasserbohrung aus dem Jahr 1924 dokumentiert ist, bei der in 117 m Tiefe ein 21 °C warmes Wasser erschlossen wurde: „Tiefenwasser wegen hoher Temperatur unbrauchbar“.

Erst mit der ab dem Jahr 2002 einsetzenden Errichtung großer geothermischer Anlagen rückte diese an sich alte Beobachtung wieder ins Blickfeld. Die heute vorliegenden Temperaturdaten, die überwiegend im Zusammenhang mit der Planung und Errichtung von EWS-Feldern oder geothermischen Brunnenanlagen in Form von Temperaturprofilen erhoben wurden, belegen, dass hohe Untergrundtemperaturen im gesamten Innenstadtgebiet von Frankfurt auftreten.

Durch die Zusammenführung der Temperaturdaten, die von zahlreichen geothermischen Fachplanungsbüros erhoben wurden, ergab sich die Möglichkeit einer in die Fläche gehenden Auswertung, mit der die Existenz der auf das Innenstadtgebiet beschränkten positiven geothermischen Anomalie nachgewiesen werden konnte.

Poster

P 8.1

Development of a soil thermal conductivity map of Bavaria for design of shallow geothermal applications

TOSHIHIKO MOMOSE¹, MARCELLUS SCHLUZE¹, BERNHARD WAGNER¹

¹ Bayerisches Landesamt für Umwelt

Kontakt: Toshihiko.Momose@lfu.bayern.de

Introduction

Soil thermal conductivity (λ) is a primary property determining the heat extraction potential of ground heat exchangers (GHE). In the context of the EU co-financed project “Information Offensive Geothermal Energy (IOGI)” Bavarian Environment Agency – Geological Survey creates a soil map of the λ values in Bavaria in the scale of 1:25 000, to provide an overview of the spatial efficiency for horizontal GHE. The model for the λ estimates will allow the prediction of heat extraction potential for near surface geothermal applications and thus is a major milestone of the project.

Materials and methods

Twenty-one Bavarian soils with a large variety of soil textures were selected for the λ measurements. For each soil, seven samples with different water content were prepared at a constant dry bulk density and their λ data were measured by the heat-probe method. Additionally, the 21 soils were tested for physical properties, such as grain size distribution and mineral composition, required for model development.

Results and discussion

The λ values increase with the saturation degree (S) for each soil. We find that the increase in λ over $\log S$ values can be divided into two categories at a particular S value (S_p). In the range of $S < S_p$, the λ values keep almost the same to that at dry conditions (λ_{dry}). For $S > S_p$, the λ values are linearly correlated with $\log S$. The correlation coefficient exceeds 0.9 for all tested soils.

The above findings provide the basis to develop the model for the λ of Bavarian soils:

For $0 < S < S_p$, $\lambda = \lambda_{dry}$.

For $S_p < S < 1$, $\lambda = \lambda_{dry} + (\lambda_{sat} - \lambda_{dry}) * (1 - \log S / \log S_p)$,

where λ_{sat} is the λ value at saturated conditions. Using the physical properties, the multiple regression analysis derives the equations for λ_{dry} , λ_{sat} and S_p :

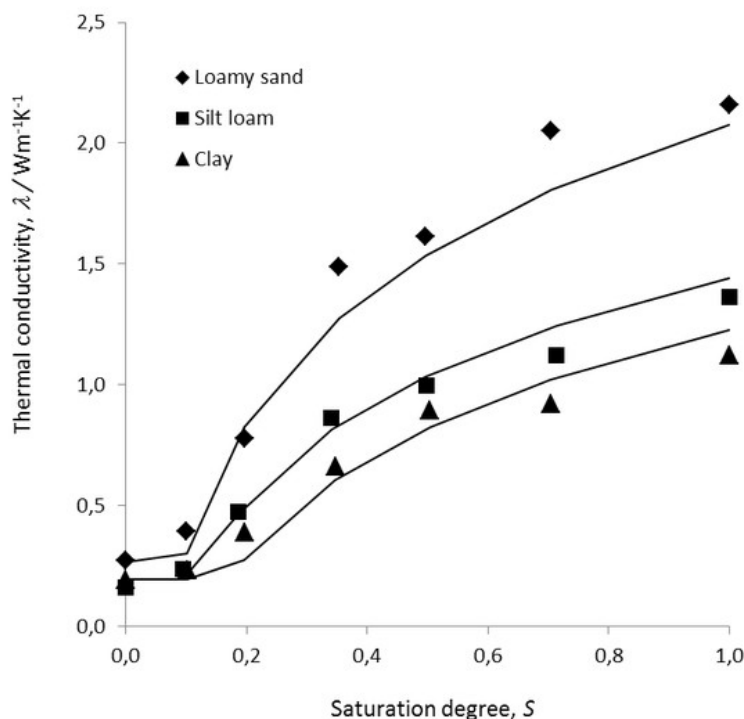
$$\lambda_{dry} = 0.30 * r_d - 0.21,$$

$$\lambda_{sat} = (7.7^{V_q} * 2^{(1-V_q)^{V_s}} * 0.6^{(1-V_s)}), \text{ and}$$

$$S_p = 0.10 * m_{clay} * r_d + 0.08,$$

where r_d is the bulk density, V_q is the volumetric quartz content expressed by " $0.14 * m_{sand} - 0.67 * m_{clay} + 0.57$ ", V_s is the volumetric solid content expressed by " $r_d/2.67$ " and m_{clay} is the clay content.

Figure 1 shows the measured and calculated λ values for different soil textures. The statistical analysis reveals that, on the average for all tested soils, the λ estimates correspond to the λ measurements within the RMSE of $0.11 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.



Conclusion

We have developed a new model that successfully fits to the λ measurements of 21 selected Bavarian soils. As a future work, further model validation based on a larger dataset will be performed. The validated model will be applied for predicting the λ values of soil units of the soil survey map of Bavaria 1:25.000 (ÜBK25) thus enabling it to be a management tool for optimized site specific layout of horizontal GHE. Data will be made available for users in the internet (www.bis.bayern.de).

Thermischer Tracertest in einem sedimentären Aquifer: Feldexperiment und numerische Simulation

VALENTIN WAGNER¹, TAO LI², PETER BAYER³, CARSTEN LEVEN⁴, PETER DIETRICH⁵, PHILIPP BLUM¹

¹ Karlsruher Institut für Technologie (Institut für Angewandte Geowissenschaften)

² Leibniz Universität Hannover (Institut für Geologie)

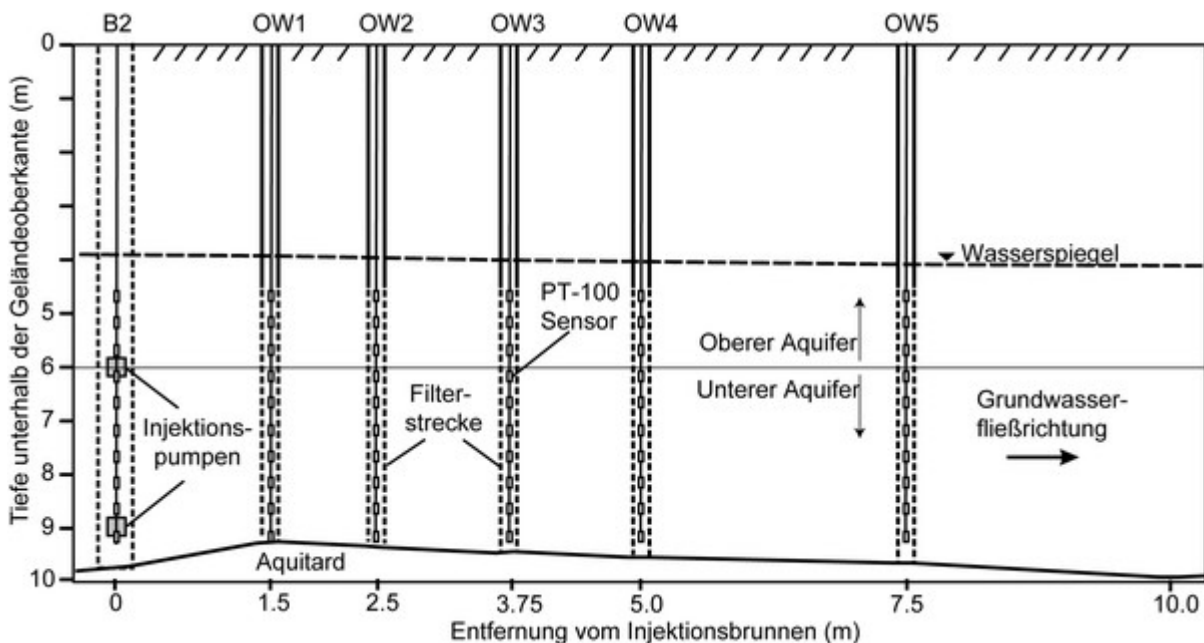
³ ETH Zürich (Geologisches Institut)

⁴ University Tübingen (Zentrum für Angewandte Geowissenschaften)

⁵ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (Departments für Monitoring- und Erkundungstechnologien)

Kontakt: valentin.wagner@kit.edu

Ein aktiver thermischer Kurzzeit-Tracertest (TTT) wurde in einem flachen Sedimentaquifer am Versuchsstandort Lauswiesen in der Nähe von Tübingen durchgeführt. Durch die Injektion von 16 m³ warmem Wasser mit 22°C wurde eine thermische Anomalie erzeugt, die sich entlang der lokalen Grundwasserfließrichtung ausbreitete. Diese wurde umfassend von fünf Beobachtungsbrunnen in einigen Metern Abstand kontinuierlich überwacht (Abb. 1). Die Zielsetzung dieses Feldexperiments war die Überprüfung der Anwendbarkeit eines TTTs und seiner Eignung zur Untersuchung der hydraulischen Eigenschaften eines heterogenen Aquifers. Hierzu wurden zum einen die Tracerankunftszeiten des thermischen Maximums in den Beobachtungsbrunnen mit den Ergebnissen des Direct-Push Injection Loggings (DPIL) verglichen (Lessoff et al. 2010). Überdies wurde für weitergehende Interpretation ein numerisches Wärmetransportmodell erstellt.



Vertikaler Schnitt durch das konzeptuelle Modell des untersuchten Aquifers, der die Position des Injektionsbrunnen B2 und den fünf Beobachtungsbrunnen OW1-OW5 zeigt (nach Wagner et al. 2014).

Die Ergebnisse des Modells wurden für einen Vergleich der gemessenen und simulierten Ankunftszeiten der maximalen Temperatur des thermischen Tracers herangezogen, um die

wichtigsten Wärmetransportvorgänge zu ergründen. Sowohl die Gegenüberstellung der TTT- und DPIL-Messungen, als auch die Gegenüberstellung des gemessenen und des simulierten TTTs, bestätigen die Zweiteilung des untersuchten Aquifers in einen hydraulisch leitfähigeren und einen hydraulisch weniger leitfähigen Bereich. Des Weiteren zeigen diese Ergebnisse, dass vertikal orientierte Strömungen fokussiert sein können. Dies kann auf bevorzugte Fließwege zurückgeführt werden, was typisch für sedimentäre Sand- und Kiesaquifere ist. Diese Erkenntnisse sind fundamental für die Weiterentwicklung von experimentellen Anordnungen von thermischen Kurzzeit-TTTs und stellen eine Grundlage für die Analyse von advektiven und konduktiven Transportprozessen in heterogenen Aquiferen dar.

Lessoff, S. C., Schneidewind, U., Leven, C., Blum, P., Dietrich, P., and Dagan, G., (2010) Spatial characterization of the hydraulic conductivity using direct-push injection logging. *Water Resources Research* 46 (12): 1-9.

Wagner, V., T. Li, P. Bayer, C. Leven, P. Dietrich, and P. Blum (2014), Thermal tracer testing in a sedimentary aquifer: field experiment (Lauswiesen, Germany) and numerical simulation, *Hydrogeology Journal*, akzeptiert.

P 8.3

Bestimmung des Verhältnisses zwischen elektrischem und thermischem Widerstand homogener Sedimente in Abhängigkeit von verschiedenen Bodenparametern

LINDA FIRMBACH¹, THOMAS VIENKEN¹, PETER DIETRICH¹

¹ Department Monitoring- und Erkundungstechnologien, UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Kontakt: linda.firmbach@ufz.de

Mit der Energiewende gewinnt die Nutzung des oberflächennahen Untergrundes als thermischer, energetischer und stofflicher Speicher zunehmend an Bedeutung. In Deutschland stieg dabei vorrangig die Zahl der Anlagen zur Nutzung der Wärme aus Grundwasser und Boden. Mit dem Beschluss des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes und der darin verankerten Verpflichtung zur anteiligen Nutzung erneuerbarer Energie zur Wärme- und Kältebereitstellung für Neubauten, wird die Anzahl dieser Anlagen auch zukünftig steigen.

Die Ausgangsparameter für die Dimensionierung der Anlagen basieren meist auf Literaturwerten oder/und numerischen Modellen, da eine hydrogeologische Vorerkundung erst ab Systemen mit einer Heizlast über 30 kW vorgeschrieben ist (VDI 2001, Blatt 2). Ebenso ist eine Überwachung der Anlageneffizienz sowie der Auswirkungen auf Grundwasser und Boden erst für größere Anlagen vorgesehen. Mit dem Entzug der Wärme aus dem Untergrund im Winter bzw. die Abgabe der Wärme in den Untergrund im Sommer, sind jedoch auch Auswirkungen auf den Energiehaushalt im Boden und die Grundwassertemperatur verbunden.

Mit dem Mangel an effizienten Monitoringansätzen der Auswirkungen großskaliger Nutzung flacher Geothermie auf Grundwasser und Boden, soll hier die Geoelektrik als potentielle Methode untersucht werden. Basierend auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes stellt sie eine effektive Alternative gegenüber typischen Temperaturmessungen. Um das Potential der Geoelektrik für ein Temperaturmonitoring zu ermitteln, müssen jedoch weitere Einflussparameter beachtet werden. Ziel dieser Studie ist es, die exakte Relation zwischen

elektrischem (R_e) und thermischem Widerstand (R_t) unter diesen weiteren Einflüssen zu bestimmen:

$$\log(R_e) = C * \log(R_t)$$

Der Parameter C setzt sich dabei aus den verschiedenen leitfähigkeitsbeeinflussenden Bodenparametern zusammen und ist materialabhängig.

Zur Bestimmung von C werden im Labormaßstab verschiedene, homogene Sande mit bekannten Eigenschaften, wie Korngröße, mineralische Zusammensetzung, Porosität und Schüttdichte auf ihre elektrischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht.

Dazu wird in dem experimentellen Aufbau ein eindimensionaler Wärmestrom erzeugt und das elektrische Verhalten in verschiedenen Abständen gemessen. Gleichzeitig wird die Wärmeausbreitung mit Temperatursensoren in festgelegten Abständen zur Wärmequelle überwacht und aufgezeichnet. Neben den einzelnen Bodenparametern soll zusätzlich der Einfluss des Porenfluids durch verschiedene Wassersättigungsgrade, sowie verschiedenen Salzlösungen untersucht werden.

VDI: Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (Part 2: Thermal use of the underground - Ground source heat pump systems). Verein Deutscher Ingenieure (2001)

P 8.4

Parameterstudie zur Sensitivität von unterirdischen Temperaturanomalien bei der Erdwärmennutzung durch offene und geschlossene Systeme

STEPHAN LÖBMANN¹, SOPHIE SCHELENZ², FALK HÄNDEL¹, JANNIS EPTING³, PETER HUGGENBERGER³, RUDOLF LIEDL¹

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department Monitoring und Erkundungstechnologien

³ Angewandte und Umweltgeologie, Institut für Geowissenschaften, Universität Basel

Kontakt: rudolf.liedl@mailbox.tu-dresden.de

Die Wärmenutzung durch oberflächennahe geothermische Anlagen als regenerative Energiequellen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Folgen dieser Zunahme der Anlagendichte, insbesondere im urbanen Raum, sind die Auswirkungen auf das natürliche Grundwassersystem. Das Einleiten bzw. Entziehen von Wärme aus dem Untergrund induzieren Temperaturanomalien, die sowohl ökonomische als auch ökologische Folgen haben können. Um den Untergrund als thermische Ressource nachhaltig zu nutzen, muss den Aspekten des Grundwasserschutzes, der Anlageneffizienz sowie der Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen benachbarten Anlagen besondere Bedeutung zugeschrieben werden. Für ein besseres Verständnis der Wärmetransportprozesse während einer geothermischen Nutzung können numerische Modelle erstellt werden.

Das Ziel für die Reproduktion der Wärmetransportprozesse ist es, zu untersuchen, wie stark sich Veränderungen in den Eingangsparametern auf die Ergebnisse der Wärmetransportmodellierung für eine geothermische Nutzung auswirken. Für die Modellstudie wurden als Einflussgrößen hydraulische Parameter, Wärmetransportparameter und Randbedingungen variiert. Die Bewertung

einer geothermischen Nutzung erfolgt dabei für a) eine Erdwärmesonde und b) für eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe.

Zur Umsetzung der Wärmetransportprozesse wurde ein dreidimensionales Modell mit den Ausmaßen 229 x 100 x 50 m³ mit Hilfe der Simulationssoftware FEFLOW aufgebaut. Dies berücksichtigt neben den Wärmetransportprozessen in der gesättigten Zone von 12,3 m auch die 21 m mächtige ungesättigte Zone. Ausgehend von der geothermischen Nutzung wurden Kältefahnen simuliert und ihre räumliche Ausdehnung dreidimensional ausgewertet.

Bei der Parameterstudie zeigt sich, dass hydraulische Parameter, wie Grundwassermächtigkeit, Durchlässigkeit und hydraulisches Gefälle der natürlichen Grundwasserströmung, einen großen Effekt auf die Temperaturbeeinflussung in der gesättigten und ungesättigten Zone haben. Dies konnte dabei für beide geothermische Anlagen beobachtet werden. Im Gegensatz dazu zeigen sich die Parameter Porosität, Grundwasserneubildung, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Oberflächentemperatur und geothermischer Wärmegradient als weniger bedeutend für eine gesicherte numerische Abbildung von geothermischen Nutzungen unter den gewählten Bedingungen.

Bei einem Vergleich dieser Ergebnisse mit jedoch nur teilweise vorhandenen Modellierungen in der Literatur konnten die Erkenntnisse bestätigt und Analogien festgestellt werden.

Eine weitere Aufgabe bestand darin, eine mögliche Wechselwirkung zwischen beiden Anlagen zueinander aufzuzeigen. Dabei konnte eine gegenseitige Beeinflussung festgestellt und eine Zunahme der Temperaturauswirkung diagnostiziert werden.

Im untersuchten Fall zeigt sich zusammenfassend, dass vor allem Strömungsparameter bekannt sein müssen, jedoch deren quantitativer Einfluss von hydrogeologischen Standorteigenschaften und der Fragestellung abhängig sind.

P 8.5

Artesisch gespanntes Grundwasser in Niedersachsen

MELANIE WITTHÖFT¹

¹ Hydrogeologie, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Kontakt: melanie.witthoeft@lbeg.niedersachsen.de

Artesisch gespanntes Grundwasser verursacht oft große Probleme bei der Nutzung des geologischen Untergrundes (z.B. Geothermie). Dabei kann das unverhoffte Antreffen von artesisch gespanntem Grundwasser erhebliche wirtschaftliche Schäden aber auch nachteilige Veränderungen der Grundwasserkörper nach sich ziehen. Um die Risiken z.B. bei Projekten zur Nutzung oberflächennaher Geothermie durch Erdwärmesonden zu verringern, dokumentiert die hydrogeologische Landesaufnahme des LBEG alle Hinweise auf artesisch gespanntes Grundwasser. Dabei entsteht eine Informationsvorlage für das NIBIS des LBEG, in der alle verfügbaren Informationen über artesische Druckverhältnisse aufbereitet sind. Diese Informationsvorlage dient zunächst als Informationsquelle bei der Beratung im Rahmen des Gewässerkundlichen Landesdienstes. Eine spätere Veröffentlichung zur allgemeinen Nutzung ist geplant.

Für jede Bohrung, für die es Hinweise auf artesisch gespanntes Grundwasser gibt, findet eine

hydrogeologische Auswertung statt, um folgende Angaben zu ermitteln: die Teufe, in der die artesischen Verhältnisse aufgetreten sind, die Steighöhe, das Grundwasserstockwerk, die geologische Einheit, die als Grundwassergeringleiter die artesischen Verhältnisse bedingt (sofern vorhanden) und die geographische Lage (ggf. die Niederung, in welcher die Bohrung abgeteuft wurde).

Um von der Punktinformation der Bohrung ggf. auf benachbarte Gebiete mit ähnlichen hydraulischen Verhältnissen schließen zu können und um diese hydraulischen Verhältnisse grundsätzlich für geplante Bohrmaßnahmen darzustellen, wird, wenn möglich, auf geologische oder hydrogeologische Profilschnitte verwiesen. Vorliegende Literatur und Berichte werden ebenfalls erfasst.

Die systematische Auswertung aller dem LBEG vorliegenden „Arteserinformationen“ hat Hinweise auf 530 Lokalisationen mit artesisch gespanntem Grundwasser ergeben (siehe Abb.1).

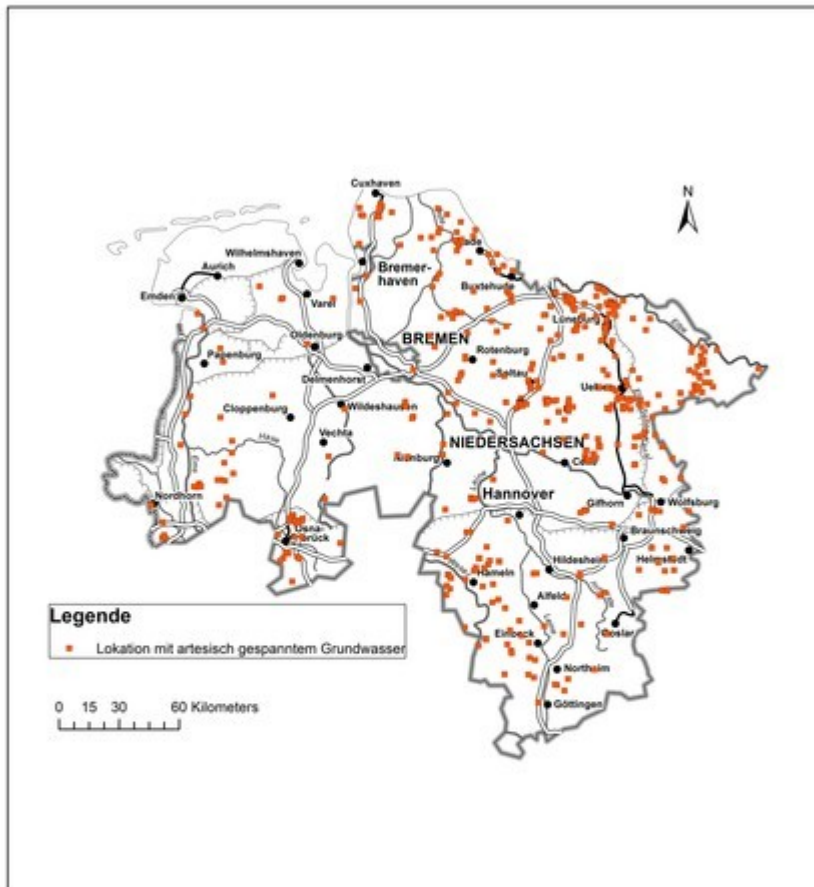


Abbildung 1: bekannte Lokationen mit artesisch gespanntem Grundwasser in Niedersachsen -Stand Oktober 2013-

Energiebedarfsermittlung zur Dimensionierung von geothermischen Anlagen in der Gebäudeklimatisierung

EKKEHART BETHGE¹

¹ Arcadis Deutschland GmbH

Kontakt: e.bethge@arcadis.de

Die Verwendung von geothermischen Anlagen zur Gebäudeklimatisierung ermöglicht gegenüber konventionellen Energieträgern deutliche wirtschaftliche Vorteile und CO₂-Einsparpotentiale: So sind gegenüber einer modernen Heizanlage mit Gas-Brennwerttechnologie Kosteneinsparungen bis über 50% möglich. Grundlage, um die prognostizierten Einsparpotentiale in der Praxis zu erreichen, ist eine detaillierte Berechnung des zukünftigen Energiebedarfs und eine hierauf angepasste Planung der geothermischen Anlage. Eine möglichst realistische Einschätzung des Energiebedarfs und der damit verbundenen Anlagendimensionierung ist zudem erforderlich, um die Auswirkungen des Anlagenbetriebs auf die Bodenzone und das Grundwasser im Vorfeld abschätzen zu können.

Im ersten Schritt sind im Rahmen der Energieanalyse insbesondere die Kennwerte zur Gebäudephysik- und Gebäudenutzung sowie die klimatischen Randbedingungen möglichst detailliert zu erfassen. Aus den erhobenen Daten müssen neben den Bedarfskenngrößen nach EnEV und DIN V 18599 möglichst auch Tages- und Jahres-Ganglinien zur Identifizierung von Spitzenlasten ermittelt werden. Um komplexe Einstrahlungs- und Wärmeübergangsprozesse zu berücksichtigen, können z.B. auch Methoden der thermischen Gebäudesimulation eingesetzt werden.

Auf Basis der Energiebedarfsdaten erfolgt im Anschluss die Planung zur Energiebereitstellung aus den geothermischen Quellen. Ziel ist eine möglichst nachhaltige Betriebsweise der Anlage zu erreichen. Hierfür sind neben den Untergrundeigenschaften und den verfügbaren geothermischen Energieressourcen auch die Strömungsvorgänge innerhalb der Anlagenkomponenten zu berücksichtigen (beispielsweise Anpassung der Betriebsweise zur Vermeidung von mikrobiologischen und chemischen Ablagerungen). Durch Simulation des Anlagenbetriebs und des damit verbundenen Wärmetransports und der Wärmespeicherung im Untergrund wird die Anlagenkonfiguration festgelegt (u.a. Anzahl und Lage der Sonden/Brunnen) und die Auswirkung auf den Untergrund bestimmt.

Hydrogeologische Aspekte der geothermischen Nutzung aus Grubenwasser in stillgelegten Erzbergwerken (Grube Ameise, Siegen)

MARION STEMKE¹, STEFAN WOHNLICH¹

¹ Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: marion.stemke@rub.de

Im Siegener Erzbergbaurevier wurden im Laufe der letzten 2500 Jahren eine Vielzahl von Schächten zur Gewinnung von Eisenerz aufgeföhren. Im Zuge der Stilllegung in den 1960er

Jahren stieg der Grundwasserstand wieder auf Normalniveau. Viele der häufig bis 900 m tiefen Schächte (tiefster Schacht 1360 m) sind heute noch zugänglich und können auch für eine geothermische Nutzung erschlossen werden.

Das Ziel des Vorhabens ist die neuartige Versorgung eines neu erschlossenen Gewerbegebietes mit Bergwerkswärme und die Einspeicherung nicht benötigter Ab- und Prozesswärme in das Altbergwerk „Grube Ameise“ in Siegen. Dazu wird eine speziell für den Altbergbau neu entwickelte 2 Phasen-Wechselsonde (Einspeicherung von Wärme in den Sommermonaten und der Entnahme in den Wintermonaten) mit dem Transportmittel CO₂ gebaut und deren Effektivität unter Realbedingungen getestet. Grundlegend sind die geotechnischen und hydrogeologischen Voraussetzungen für den Einsatz derartiger Sonden in Schächten des Altbergbaus und die Übertragbarkeit der Ergebnisse.

Zunächst werden die hydrogeologischen, hydraulischen und hydrochemischen Bedingungen im Schacht, den alten Strecken und Abbaubereichen sowie deren Anbindung an das hydraulische System des Gebirges ermittelt. Die hydrogeologischen und hydraulischen Aspekte werden mittels einer Tiefensonde (Ermittlung pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung) bis in 1000 m Tiefe untersucht. Künftige Ziele sind die Quantifizierung der Fließpfade und Fließ- bzw. Aufenthaltszeiten, hydraulische Verbindungen und Parameter (k_f-Wert, Dispersivität, Porosität) mit Hilfe von tiefenabhängigen Tracerversuchen. Parallel dazu erfolgt die Erfassung möglicher hydrochemischen Veränderungen durch den Sondenbetrieb (z.B. in Bezug auf Korrosion). Die Datenermittlung erfolgt durch in Situ Messungen sowohl vor als auch während des Sondenbetriebes um Veränderungen im Strömungsverhalten des Wassers im Schacht detektieren zu können.

Die Ergebnisse werden anhand von hydraulischen und hydrogeochemischen Modellen (Feflow, Leapfrog, PhreeqC) in Bezug auf Auswirkungen des Sondenbetriebes auf die Grundwasserströmung im Grubengebäude sowie zur Prognose der hydrochemischen und -physikalischen Eigenschaften des Wassers bei langfristigem Einsatz der Sonde herangezogen.

FENCHEL, W. et al. (1985): Sammelwerk Deutsche Eisenerzlagertstätten: 1. Eisenerze im Grundgebirge (Varistikum). Die Sideriterzgänge im Siegerland-Wied-Distrikt.-Geologisches Jahrbuch Reihe D, Bd. 77, 517 S., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.

HEYL, K. E. (1954): Hydrochemische Untersuchungen im Gebiet des Siegerländer Erzbergbaus.- Dissertation Universität Heidelberg, 72 S., Heidelberg.

P 8.8

Überblick zum Projekt „Mitteltiefe Erdwärmesonde Heubach“ und Ergebnisse der fachlichen Projektbegleitung durch das HLUG

JOHANN-GERHARD FRITSCHÉ¹, ANNE KÖTT¹, MATTHIAS KRACHT¹, THOMAS REISCHMANN¹

¹ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Kontakt: johann-gerhard.fritsche@hlug.hessen.de

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Mitteltiefe Erdwärmesonde Heubach“ der HEAG Süd Hessische Energie AG (HSE) wird vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUENV) über Mittel aus dem europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Es soll Grundlagen erarbeiten und demonstrieren, wie die

Wärmeversorgung eines mittelständischen Industriebetriebes (Fa. Frenger Systemen B.V.) mit einer mitteltiefen coaxialen Erdwärmesonde ökonomisch unter Nutzung der regenerativen Energiequelle Erdwärme im Zusammenwirken mit einer energetisch besonders sparsamen Gebäudetechnik erfolgen kann. Damit erfüllt das Projekt wichtige Vorgaben aus dem Umsetzungskonzept der hessischen Landesregierung zum hessischen Energiegipfel.

Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) ist vom HMUELV über eine Verwaltungsvereinbarung mit der wissenschaftlich-geologischen Begleitung des Projekts beauftragt.

Das am 21.12.2010 begonnene Pilotprojekt stellt nach Fertigstellung die erste Nutzung der Geothermie im mitteltiefen bis tiefen Bereich in Hessen dar. Im Juni 2012 wurden die Bohrarbeiten abgeschlossen, seit Aufnahme des Testbetriebs im Dez. 2012 bis Okt. 2013 wurden ca. 70.000 kWh durch die Geothermieanlage erzeugt.

Neben der tiefen Erdwärmesonde zum Heizen der Produktionsgebäude werden auch 8 „herkömmliche“ Doppel-U-Erdwärmesonden (eine davon wurde als Kernbohrung ausgeführt) mit Tiefen von 90 bis 138 m zum Heizen und Kühlen verwendet.

Die Tiefbohrung erschließt als erste in Hessen das kristalline Grundgebirge (Gneise mit unterschiedlichen Anteilen an typischen Mineralen wie Quarz, Glimmer, Feldspat sowie Hornblende und Granat) über eine große Bohrlänge von fast 775 m.

Eine Kamerabefahrung und ein Pumpversuch in der flachen Kernbohrung ergaben eine im Gneis nicht erwartete Grundwasserführung auf Klüften, die bis zu 2,5 cm weit geöffnet sind. Bei 326 m Tiefe wurde eine breiige, hydrothermal veränderte Zone mit ca. 6 m erbohrt, die die Bohrlochstabilität beeinträchtigte. Dennoch sind die Durchlässigkeiten insgesamt gering.

Die Wärmeleitfähigkeiten liegen in geringeren Tiefen zwischen 2,5 und 3 W/(m*K), in größeren Tiefen wegen des hohen Quarzanteils höher (3,5 bis 4 W/(m*K)). Der geothermische Gradient liegt im Bereich von 3,7 °C/100 m. Die Temperatur im Sondentiefsten liegt bei 36,7 °C; die effektive Wärmeleitfähigkeit gemäß Response Test bei 3,0 W / (m*K).

Die Bohrung liefert wichtige Erkenntnisse hinsichtlich des strukturellen Aufbaus des kristallinen Odenwaldes und der geologischen und hydrogeologischen Interpretation der umfangreich vorgenommenen geophysikalischen Bohrlochmessungen. Die gewonnene Datenfülle ist eine Grundlage zur Planung weiterer Projekte und erlaubt Vergleiche zu anderen Tiefbohrungen in Kristallingesteinen, z. B. bezüglich der Entwicklung von Durchlässigkeiten, Porositäten und Wärmeleitfähigkeiten mit zunehmender Tiefe.

Altenberger, U. (unveröff.): Petrographische und petrologische Untersuchung an den Bohrkernen der Bohrungen Heubach und Wiebelsbach (Odenwald).- Abschlussbericht, Juli 2012

Fritsche, J.-G. & Kött, A. (2012): Forschungs- und Entwicklungsprojekt mitteltiefe Erdwärmesonde Groß-Umstadt-Heubach.- Jahresbericht 2011 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie

Kött, A.; Fritsche, J.-G.; Kracht, M.; Nesbor, D. & Reischmann, T. (2013): Geologische Ergebnisse zur geothermischen Tiefbohrung Heubach/Odenwald. - Jahresbericht 2012 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie

<http://www.hlug.de/start/geologie/erdwaerme-geothermie/tiefe-geothermie/projekte-erdwaermesonde-heubach/mitteltiefe-erdwaermesonde-heubach.html>

Scalings in the Thermal Water System of a Geothermal Power Plant in the Malm Aquifer

MORITZ HERBRICH¹, NADINE FRANK², CHRISTIAN PLETL², FRANZ BARENTH², REINHARD NIESSNER¹, THOMAS BAUMANN¹

¹ Institut für Wasserchemie, Technische Universität München

² SWM Services GmbH

Kontakt: moritz.herbrich@mytum.de

The Malm aquifer in the Molasse basin, Bavaria, Germany, is ideally suited for the exploration of deep hydrogeothermal energy. Several ambitious projects for combined heat and power production were initiated over the last few years. Although the general conditions of the Malm aquifer are very favorable for geothermal power production with volume fluxes exceeding 100 L/s, temperatures above 140 °C, and low salinity, the technical details for long-term operation are far from trivial. Recent research projects have shown that higher concentrations of methane and H₂S can occur in the area around Munich and that carbonate equilibria are likely to be disturbed during production.

During the retrieval of the thermal water pump at the combined heat and power station at Sauerlach, operated by the Stadtwerke München GmbH, scalings were found on the production unit, inside the stand pipes, and in the ground level thermal water system.

The thickness of the scalings was high immediately at the pump's outlet, decreased to minimum thickness roughly 400 m above the pump and increased again to the surface. The morphology and mineralogical composition of the scalings analyzed by SEM/EDX and XRD reveals mainly magnesium-calcite and some iron sulfides in the lower part of the stand pipes. The size of individual crystals in the scalings increases from the pump to the surface.

The results indicate a disturbance of the carbonate equilibria due to degassing. Indeed, gas bubbles can be observed in the thermal water at ground level inspection windows. These findings, however, are in contrast to model calculations under static conditions, which predict complete dissolution of all gases in the thermal water system under the given pressure conditions. A likely explanation to this discrepancy is a local pressure drop in the pump which leads to the formation of gas bubbles which, once formed, dissolve only very slowly in the thermal water flow due to little differences in the local partial pressures.

Scalings inside the pipes of the ground level facility were also found after filter systems and show little adhesion to the pipes due to the presence of an oil film. Although easily removable during maintenance cycles, these scales can also be mobilized by sudden pressure changes when starting and stopping the pumps. They might then clog the heat exchangers and reduce their efficiency significantly.

This project is funded by the Federal Environment Ministry under the project number 0325280B.

Effects of hydrogeochemistry on the long-term hydraulic behaviour of geothermal wells in the Molasse Basin, Bavaria

MARK LAFOGLER¹, ALEXANDROS SAVVATIS², FRANK WENDEROTH³, ALEXANDER SEITZ-GUTMANN⁴,
REINHARD NIESSNER¹, THOMAS BAUMANN¹

¹ Institute of Hydrochemistry, Technische Universität München

² Erdwerk GmbH

³ Aquasoil GmbH

⁴ Innovative Energie für Pullach GmbH

Kontakt: mark.lafogler@tum.de

Geothermal exploration of the Malm aquifer in Bavaria is highly successful. Data about the long-term operation, however, is still scarce, although detailed knowledge about the processes occurring in the aquifer is a key requirement to run geothermal facilities efficiently and economically. While there usually is a constant flow of data from the production well (temperatures, hydraulic data, hydrochemical conditions, gas composition) not even the temperatures in the immediate surrounding of the reinjection well are accessible or known.

In 2011 the geothermal facility in Pullach was extended with a third geothermal well reaching into the Malm aquifer which is now used as a reinjection well. The former reinjection well was converted to a production well after 5 years of operation. This setting offers a unique opportunity to study the processes in the vicinity of a reinjection well and provides the data base to describe the hydraulic, thermal and hydrochemical performance of the reservoir.

As the viscosity of the injected cold water is at least 60% higher compared to the hot water in the reservoir, one would expect an increase of the reinjection pressure as the cold water plume spreads around the reinjection well. Measurements, however, show a significant decrease of the reinjection pressure at many geothermal sites in the area of Munich, suggesting processes in the aquifer which positively change the hydraulic properties and overcompensate the viscosity effects.

When the well Th2 was transformed into a production well in 2012, access was provided to injected thermal water. Not surprisingly many dissolved ions like Na, K, and Cl showed similar concentrations in the produced water compared to the injected water. However we also observe a significant increase of Ca, Mg, and the alkalinity as well as a decrease for sulfate. While the former indicate a dissolution process in the aquifer, the latter points to increased microbial activity.

The dissolution processes might explain the overcompensation of viscosity effects by either increasing the width of the flow paths in the matrix or reducing the skin effect, or both.

9 Urban hydrogeology

Oral Presentations

O 9.1: H17, NW II, 29.05.2014, 15:20-15:40

Geologische 3D-Modellierung des Stadtgebietes Magdeburg: Festgestein mit Störungen und Lockergesteinsbedeckung

MARTIN HEILWAGEN¹, RONNY LÄHNE¹, WOLFGANG GOSSEL¹, PETER WYCISK¹

¹ Fachgebiet Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle

Kontakt: wolfgang.gossel@geo.uni-halle.de

Im Rahmen eines Projekts der MLU Halle-Wittenberg und des Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt wurde der Untergrund der Stadt Magdeburg geologisch modelliert. Dies wurde mit Hilfe von Daten des LAGB und dem Softwarepaket move© der Midland Valley Exploration Limited realisiert. Als Modellgrundlage dienten Schnitte, Oberflächen- und Tiefenkarten sowie ein DGM im 20m Raster. Auf einer Fläche von 201,84km² erstrecken sich Geländehöhen von 123,9m üNN bis zum Nullpunkt des Elbpegels auf 39,89m üNN.

In Magdeburg werden Festgesteine des Dinant, Rotliegend, Zechstein, Buntsandstein und Keuper von marinen Ablagerungen des Tertiär, glazigenen der Saale- und Weichsel-Kaltzeit sowie holozänen Lockergesteinen überlagert. Das gesamte Gebiet wurde vor allem in der vorletzten großen Vereisungsphase der Saalekaltzeit landschaftlich neu geprägt und kann morphologisch und geologisch in zwei Teile gegliedert werden. Die Ablagerungen des Saalekomplexes sind heute eher im Südwesten des Stadtgebietes zu finden. Dieser Bereich besitzt wesentlich stärkere Reliefunterschiede, ist höher gelegen und flächiger von anthropogenen Auffüllungen bedeckt. Die Schwemmebene der Elbe im Osten des Flusses ist wesentlich flacher und besitzt mächtigere und grobkörnigere Sedimente.

Es konnten 48 Störungen, welche durch Spannungszustände am Ende der variszischen Orogenese und während der Hebung von Pultschollen in der Kreide entstanden, modelliert werden. Zu den Störungen wurden 15 lithostratigraphische Einheiten ausgehalten, die im Modell von ca. 300 Oberflächen repräsentiert werden. Es wurden neben den Störungen und dem Festgestein Schichtlücken, Lockergesteinslinsen, Wechsellagerungen und die anthropogene Auffüllung modelliert.

Während der Modellierung zeigte sich das Programmpaket move als vielseitiges und relativ universell einsetzbares Modellierungswerkzeug mit weitestgehend intuitiver Bedienung und vielen Nachbearbeitungsfunktionen. Es ermöglicht die Modellierung von Kluft-, Karst- und Lockergesteinsgrundwasserleitern in einem Programmpaket. Die Einbindung von Schnitten und somit Verwendung von weniger automatisierten Verfahren erschwert die Modellierung, liefert jedoch nach Wycisk et al. (2009) bessere Modellierungsergebnisse als auf Korngrößen oder der Lithologie basierende automatische Verfahren. Dieser Ansatz ist durch das Einbeziehen von Expertenwissen für die Modellierung von quartären Sedimenten sowie künstlichen Abtragungs- und Aufschüttungsstrukturen geeignet. So ist zum Beispiel die Modellierung ehemaliger Fließrinnen auf verschiedene Weisen möglich.

Das visualisierte Modell dient als Hilfe zum Verständnis der flachen, teilweise komplexen Geologie Magdeburgs. Das Modell kann außerdem als Datenbasis für Informationssysteme oder

hydrogeologische Modellierungen fungieren.

Wycisk, P., Hubert, T., Gossel, W. & Neumann, Ch. (2009): High-resolution modelling of complex geological structures for an environmental risk assessment of abundant mining and industrial megasites; S.165-182 in: Computers & Geosciences, 35, Elsevier, München

O 9.2: H17, NW II, 29.05.2014, 15:40-16:00

Auswirkungen der Urbanisierung und des Klimawandels auf das oberflächennahe Temperaturfeld von Berlin

ALEXANDER LIMBERG¹, ANDREAS HENNING²

¹ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Landesgeologie

² Henning Energie- und Umweltberatung

Kontakt: alexander.limberg@senstadtum.berlin.de

Das Temperaturfeld im oberflächennahen Untergrund (bis maximal 100 m Tiefe) wird durch den geothermischen Energievorrat in großer Tiefe und durch die mittlere Jahrestemperatur an der Erdoberfläche, d. h. der Grenzfläche Luft / Erde bestimmt. Im Gegensatz zur konstanten Erdwärmestromdichte ist die mittlere Jahrestemperatur an der Erdoberfläche von den lokal vorherrschenden klimatischen Bedingungen abhängig, die gerade in den letzten 100 Jahren im Land Berlin durch die zunehmende Urbanisierung einer stetigen Veränderung unterzogen sind.

Die mittlere Oberflächentemperatur stellt für die Entwicklung des Temperaturfeldes bis in mehr als 100 m Tiefe eine wesentliche Größe dar.

Seit mehr als 30 Jahren werden im Land Berlin in tiefen Grundwassermessstellen, die über das ganze Stadtgebiet des Landes Berlin verteilt sind, regelmäßig Temperaturmessungen durchgeführt. Gerade in den letzten Jahrzehnten ist eine zunehmende Beeinflussung der Untergrundtemperatur in zahlreichen Temperaturprofilen im Land Berlin zu beobachten.

Auf Grundlage von Langzeituntersuchungen kann gezeigt werden, dass diese Temperaturveränderungen zum einen im Zusammenhang mit den lokalklimatischen Veränderungen aufgrund der baulichen Entwicklung stehen.

Neben den lokalklimatischen Veränderungen macht sich zum anderen zusätzlich auch der Einfluss des auf der nördlichen Hemisphäre zu beobachtenden Klimawandels auf die Temperatur im oberflächennahen Untergrund bemerkbar. Dieser Temperaturanstieg führt zu einer merklichen Störung des Temperaturgleichgewichts im oberflächennahen Untergrund, der auch unterhalb der neutralen Zone bei Messstellen im Land Berlin zu beobachten ist.

Die Untersuchungsergebnisse belegen, dass von einer tief greifenden Erwärmung des jahreszeitlich beeinflussten (bis 20 m Tiefe) und des oberflächennahen Untergrunds (bis 100 m Tiefe) und somit auch des Grundwassers auszugehen ist.

Die beobachteten Temperaturverläufe mit der Tiefe zeigen, dass der Temperaturangleich im tieferen Untergrund noch nicht abgeschlossen ist. Mit zunehmender Zeit wird sich bei unverändert wirkenden Oberflächentemperaturrandbedingungen der Untergrund weiter erwärmen.

[1] Andreas Henning, Energie- und Umweltberatung, Rothenbücherweg 53 a, 14089 Berlin, e-mail: andreas.henning@henning-umwelt.de

[2] alexander Limberg, Geologie und Grundwassermanagement, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Brückenstraße 6, 10179 Berlin, e-mail: Alexander.Limberg@senstadtum.berlin.de

Kuttler, W. (2004): Stadtklima, Teil 1: Grundzüge und Ursachen. – UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. Vol. 16, Nr. 3 S. 187-199.

PIK (2012): Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Säkularstation Potsdam-Telegrafenberg; zugegriffen: 02. April 2012, <http://www.klima-potsdam.de/>

Sedlbauer, K. & M. Krus (2009): Bauphysik. – Skript zur Vorlesung Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Freilandversuchsstelle Holzkirchen

Umweltatlas Berlin: Karte 04.05 „Stadtklimatische Zonen, zugegriffen am 02. April 2012, <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/>.

WSL (2012): Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL); zugegriffen: 02. April 2012, <http://www.wsl.ch>

Zoth, T. A. & R. Hänel (1988): Appendix, in R. Hänel, L. Rybach & L. Stegena (ed.): Handbook of Terrestrial Heat Flow Determinations, Kluwer, S. 449-466.

O 9.3: H17, NW II, 29.05.2014, 16:00-16:20

Auswirkungen des urbanen Wasserkreislaufs auf die $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ Isotopensignatur eines Karstaquifers im semi-ariden Klima Nord-Jordaniens

FELIX GRIMMEISEN¹, JOCHEN KLINGER¹, NICO GOLDSCHIEDER¹

¹ Abt. Hydrogeologie, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: felix.grimmeisen@kit.edu

Zur Deckung des Trinkwasserbedarfs der Ballungszentren Nord-Jordaniens wie Amman oder Balqa werden bedeutende Mengen an Wasser, z.B. des Yarmouk-Flusses, mehr als 100 km nach Süden geleitet. Während der Großteil von jährlich etwa 60-70 Mio. m³/Jahr dieser Leitungswässer der Hauptstadt zur Verfügung stehen (Alkhoury et al. 2010), sind auch kleinere Städte wie Salt verstärkt auf diese Importe angewiesen, da lokale Ressourcen durch mangelndes Wassermanagement und starke Verschmutzung bei der verfügbaren Aufbereitungstechnologie nur limitiert ins Trinkwassernetz eingespeist werden können. Im Wadi Shueib kann die Stadt Salt mit 110.000 Einwohnern, etwa 20 km westlich von Amman, potentielle Trinkwasserquellen vor Ort nur noch zu etwa 50% nutzen. Zwei von drei verfügbaren Karstquellen mit einer durchschnittlichen Gesamtschüttung von 8 Mio. m³/Jahr sind aus technischen und Qualitätsgründen nicht verwendbar. Demzufolge müssen durchschnittlich 50% des Wasserbedarfs durch Importe ausgeglichen werden. Somit werden die Haushalte mit Mischwasser versorgt, das sich etwa zu gleichen Teilen aus einer Karstquelle (Baqqouria) sowie dem importierten Wasser zusammensetzt. Die Hydrogeologie der Quellen bestimmen tektonisch stark verformte und gestörte Kalkstein-Schluffstein-Formationen aus kreidezeitlichen marinen Sedimenten die dem wichtigsten Grundwasserleiter im Norden Jordaniens, dem Amman/Wadi As Sir Aquifer (Turon-Coniac), angehören (Margane et al. 2002).

Das Stadtgebiet von Salt liegt im Einzugsgebiet der Karstquellen und kennzeichnet damit die

zentrale Problematik. Eine von Natur aus höhere Vulnerabilität von Karstgrundwasserleitern bei gleichsam mangelhaften Kanalisationssystemen sowie hohe Verluste im Leitungswassernetz führen hier zu einer Beeinflussung der Grundwasserqualität. Die Karstquelle (Hazzir) in nächster Nähe zum Stadtgebiet wird dabei am stärksten durch die urbanen (Ab-)Wässer beeinflusst, was sich in höherer elektrischer Leitfähigkeit, beständigen *E. coli* Belastungen sowie hohen Nitratkonzentrationen verdeutlicht. Diesen urbanen Einfluss spiegeln auch die $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ Isotopendaten wider, da der Einfluss der externen Trinkwasser-Ressource als künstlicher Anteil im Grundwasser erkennbar ist (vgl. Abb.1). Dabei wirken sich die saisonalen Effekte des semi-ariden Klimas sehr dynamisch aus. Während sich die Isotopensignaturen der Quellen im Winter durch Niederschläge angleichen, wird im Sommer der unterschiedlich starke urbane Einfluss auf die Quellen entsprechend gekennzeichnet mit zunehmendem Trend hin zur Signatur des Leitungswassers (tap water). Ohne den Einfluss der Niederschläge ändern sich die Isotopensignaturen der Quellen durch den verhältnismäßig erhöhten Einfluss aus Leckagen. Vereinfachte Mischungsrechnungen ermöglichen so, den Abwasser-Einfluss bzw. den Effekt der künstlichen Grundwasseranreicherung durch die Stadt besser zu quantifizieren.

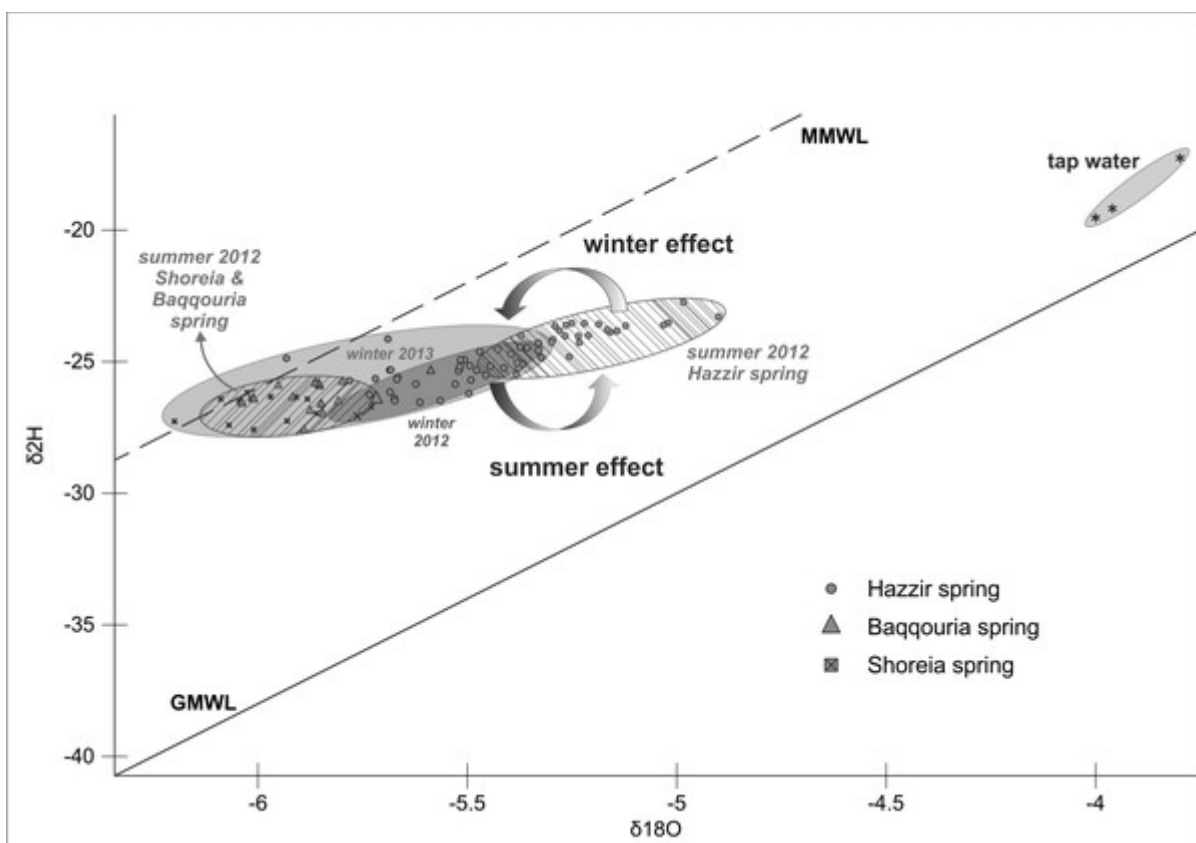


Abb.1 $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ Isotopensignaturen kennzeichnen unterschiedliche Auswirkungen städtischer Abwässer auf die Wasserqualität von Karst-quellen im Wadi Shueib, Jordanien

Margane, A., Hobler, M., Almomani, M., Subah, A. (2002): Contributions to the Hydrogeology of Northern and Central Jordan.– Geol. Jb., C. 68; 52 p.; Hannover.

Alkhoury, W., Ziegmann, M., Frimmel, F.H., Abbt-Braun, G. Salameh, E. (2010): Water quality of the King Abdullah Canal/Jordan-impact on eutrophication and water disinfection.– Toxicological & Environmental Chemistry, 92: 5, p. 855-877; London (Taylor & Francis).

Soil sorption and biodegradation of PAH: model-based analysis of kinetics and the influence of soil amendments

ARNO REIN¹, GEOFFREY MARCHAL², KILIAN E.C. SMITH³, STEFAN TRAPP⁴, ULRICH G. KARLSON⁵

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München (TUM)

² Center for Energy Resources Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark

³ Korean Institute of Science and Technology Europe, Saarbrücken, Germany

⁴ Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark

⁵ Department of Environmental Science, Aarhus University, Roskilde, Denmark

Kontakt: arno.rein@tum.de

Soils contaminated by hazardous compounds such as polyaromatic hydrocarbons (PAH) can impact groundwater quality and pose environmental risks when uptake by animals and plants leads to toxicity. Sorption of PAH to soil and soil amendments reduces dissolved concentrations, thereby limiting toxicity but also potentially biodegradation. In order to analyze the kinetics of sorption and microbial degradation, experiments with soil suspensions were done, and mathematical modeling was conducted aiming at analyzing key processes and estimating kinetic parameters (Marchal et al. 2013).

The experiments were conducted with the degrader strain *Sphingomonas sp.* 10-1 in soil suspensions spiked with ¹⁴C-labeled phenanthrene. Three different soils were tested, and the influence of activated carbon (AC), charcoal and compost amendments on the biodegradation of PAH was assessed. Desorption kinetics was determined from abiotic experiments (desorption of PAH from spiked soil into solution). The extent and kinetics of biodegradation was examined in biotic experiments with soil suspension. A five-compartment model considering abiotic desorption from soil, desorption and biodegradation was set up to describe and simulate the experimental observations.

Desorption kinetics could be described by combining a rapid and a slow first-order process, reflecting chemical adsorption to soil particle surface followed by subsequent diffusion into particle interior (Cornelissen et al. (1998) and Johnson et al. (2001)). The rate constants were fitted and used for simulation of the biotic desorption experiments. Microbial growth and biodegradation was simulated using Monod and Michaelis-Menten kinetics. Observations from biodegradation experiments could be explained by assuming co-metabolism (microbial growth supported by soil organic carbon).

Complete desorption was observed both in un-amended and compost-amended soils. Contrary, desorption was strongly inhibited by biochar and in particular activated charcoal. The reduction of desorption by the soil amendments subsequently affected mineralization. The model kinetics strongly suggest that with AC and charcoal treatments, desorption into dissolved phase was slow and limited mineralization. In studies with pure AC and biochar amendments, this effect was not observed. This suggests that the mix of soil and amendments leads to reduced bioavailability, but there is no definitive conclusion allowed from the present observations. The calibrated model can be applied to simulations of ad/desorption of PAH and other non-soluble contaminants, and the effect of bioavailability on biodegradation kinetics.

Marchal, G., Smith, K.E., Rein, A., Winding, A., Wollensen de Jonge, L., Trapp, S., Karlson, U.G. (2013): Impact of activated carbon, biochar and compost on the desorption and mineralization of phenanthrene in

soil. *Environmental Pollution* 181, 200-210.

Cornelissen, G., Rigterink, H., Ferdinandy, M.M.A., van Noort, P.C.M. (1998): Rapidly desorbing fractions of PAHs in contaminated sediments as a predictor of the extent of bioremediation. *Environmental Science & Technology* 32, 966-970.

Johnson, M.D., Keinath, T.M., Weber, W.J. (2001): A distributed reactivity model for sorption by soils and sediments. 14. Characterization and modeling of phenanthrene desorption rates. *Environmental Science & Technology* 35, 1688-1695.

Poster

P 9.2

Fast evolving conduit network in weakly cemented sandstone by groundwater flow: Characterization, evolution and significance for origin of “open fractures” in Bohemian Cretaceous Basin

JIRI BRUTHANS¹, JAN SOUKUP², DANIEL SVETLIK²

¹ Czech Geological Survey

² Charles University in Prague

Kontakt: bruthans@natur.cuni.cz

In the Strelec Quarry, Czech Republic, underground conduits > 300 meters long with volume up to ten thousand m³ developed within 5 years as a result of erosion by groundwater flow (piping). Piping was caused by 20 m decrease of water table in quarry. The quarry is situated in Hrubá Skála quartz sandstone bonded by kaolinite matrix (Bohemian Cretaceous Basin).

Conduits are results of self-organization of porosity and groundwater flow. Originally large number of small inflows evolved in few years into several major conduits with discharge up to 70 l/s and intense transport of sand. Continuous monitoring of water table in wells in quarry catchment (15 km²) enabled to partly reconstruct the evolution of conduit network in space and time. A new technique was used to distinguish the erodible portions of the sandstone.

Three erosion processes were observed in the quarry: piping, sandstone fluidization, and mass wasting. Piping, caused by groundwater flow 40 cm/s under a channel gradient <1%, occurred in major conduits transporting sediments. Concentrated flow exceeding 1-4 ml/s with velocities of 10-20 cm/s and channel gradients 5-6% are capable of eroding the erodible portions of sandstone. Conduits typically form by piping of erodible sandstone between sets of parallel fractures. Conduit formation was triggered by an increase of the groundwater gradient from ~ 0.005 to >0.02.

Morphologically identical conduits have evolved in Hrubá Skála sandstone in the past by natural processes. Deformation bands at fracture surfaces limit erosion. As a result the conduits resemble the open fractures. The observed features and processes thus can be used to understand the character and evolution of highly permeable porosity in some areas of Bohemian Cretaceous Basin.

Urban hydrogeology under anthropogenic and climate change impacts in Urumqi as example of Central Asia

YAN ZHU¹

¹ IRTCW of Uni.Tuebingen & Chang'An Uni.

Kontakt: yanzhu42@hotmail.com

Urumqi, one of the most important mega-cities in Central Asia, is expanding under influences of the combined factors of fast urbanization, economic restructuring, geo-politics and resource development policies. Sustainable water security with regional groundwater management needs to be urgently addressed in such a climate-sensitive area. Knowledge-based solutions for the local governance of freshwater systems, especially improving scientific understanding of anthropogenic and climate change impacts on groundwater resources, which play a very important role in semi-arid and arid regions, links to urban water supply and the sustainable management of the ecosystem.

Central Asia suffers from water scarcity, groundwater pollution and over-exploitation in urban regions. Climate change is strongly impacting water availability, energy security and sustainable development in the region, and thus represents one of the key concerns of water resource predictions, with serious implications for economic development, social stability and environmental safety. Urumqi has been chosen as the typical area to address the central research question concerning how humans have changed the water system in urban area, climate change impact as well as natural influences and social feedbacks arising from these changes at the regional scale.

The study focus on urban hydrological cycle and current situation of groundwater management, by field investigations & monitoring provided aquifer systems, groundwater quantity and quality, over-exploitation, water pollution, resource degradation and geo-risks. The anthropogenic impacts of land use & water balance changes, with the background of rapid climate change, caused the surface water and groundwater dynamics in the mega-city.

A systems approach for IWRM, searching for alternative water sources and investigating the feasibility, both ecologic and economic, groundwater protection, artificial groundwater recharge, brackish water use through desalination become the technological tools for the sustainable use of groundwater, plus local ecological experience to meet human needs whilst protecting freshwater ecosystem. Thus, the sustainable development strategies for improving efficiency started from Water Sensitive Urban Design, "Water-saving City", "Smart growth approaches", keeping ecological stability and Low-impact development, and for water security in extremes and emergency, groundwater resources protection and pollution control by natural treatment processes, are especially important for the Megacities in the arid and semi arid areas. Long-term research programs for quantitative assessment of climate change, regional water circle and the water balance under different scenarios are needed.

3D-Modellierung eines Multi-Tracerversuchs an einem PAK-kontaminierten Standort mit hohen Grundwasserfließgeschwindigkeiten

LUKAS KNOLL¹, KAI ZOSEDER¹, ARNO REIN¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München (TUM)

Kontakt: arno.rein@tum.de

Voraussetzung für eine Prognose der Schadstoffausbreitung im Grundwasser sind genaue Kenntnisse der hydraulischen Eigenschaften und transportspezifischen Parameter sowie deren räumliche Verteilung im Untergrund. Gegenstand dieser Arbeit ist ein PAK-kontaminierter Standort mit hohen Grundwasserfließgeschwindigkeiten, an dem ein Multi-Tracerversuch durchgeführt wurde. An einer Vielzahl von Messstellen wurden Tracerdurchbruchkurven bestimmt, so dass detaillierte Informationen über die Verteilung von Tracerkonzentrationen als Funktion der Zeit (und der Tiefe an einer Multilevel-Messstelle), sowie Grundwasserganglinien vorliegen. Dieser Datensatz wurde verwendet um ein dreidimensionales Grundwasserströmungs- und Transportmodell aufzubauen und zu kalibrieren. Ziel hierbei war, den Einfluss der unterschiedlichen Prozesse zu untersuchen und durch inverse Modellierung die Modellparameter abzuschätzen.

Beim Standort handelt es sich um eine ehemalige chemische Fabrik in München-Pasing, wobei das Schadstoffinventar von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) dominiert ist. Unsere Untersuchungen konzentrierten sich auf den oberen (quartären) Grundwasserleiter, der sich aus glazifluvialen Ablagerungen der Münchner Schotterebene zusammensetzt und eine hohe Heterogenität aufweist. Die in Rinnenstrukturen auftretenden Kiese zeigen sehr hohe hydraulische Leitfähigkeiten, und es bestehen vereinzelte hydraulische Verbindungen zur tertiären Basis (Geringleiter der Oberen Süßwassermolasse).

Eine hohe Unsicherheit besteht hinsichtlich der räumlichen Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeit (K_f) im Untergrund. So konnten die beobachteten Grundwasserganglinien, und teilweise die beobachteten Tracerdurchbrüche, plausibel durch eine Veränderung des heterogenen K_f -Feldes im Modell erklärt werden. Diese Anpassung orientierte sich am konzeptionellen Modell eines Braided-River-Systems, gestützt auf Informationen aus dem Luftbild eines Nebenflusses der Isar.

Die Ausbreitung des Tracers Natrium-Naphthionat ließ sich für kürzere Entfernungen vom Eingabepunkt (bis etwa 75 m) sehr gut durch die Berechnungen abbilden. In größerer Entfernung gab es allerdings Abweichungen, was sowohl die Höhe des Peaks als auch das Abklingen (Tailing) der Durchbruchkurven betrifft. Die Untersuchung der Parametersensitivitäten zeigte hierbei einen deutlichen Einfluss der Dispersivität und deren räumliche Verteilung. Ein Problem stellte hierbei die Betrachtung der transversalen Dispersivitäten im Modellaalgorithmus dar, d.h. die Approximation der vertikalen Komponente, was derzeit weiter untersucht wird. Im nächsten Schritt wird das Modell mit den Daten zur Ausbreitung und Durchbruchkurven des Uranin/Pyranin-Tracers validiert werden. Weitere geplante Arbeiten umfassen die Untersuchung und modellhafte Betrachtung heterogen verteilter Dispersivität und effektiver Porosität im Zusammenhang mit der K_f -Verteilung.

Quantitative Untersuchungen zum Wärmetransport zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser am Beispiel der Isar und der Münchener Schotterebene

PATRICK KOTYLA¹, KAI ZOSSEDER¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, TU München

Kontakt: patrick.kotyla@tum.de

Traditionell wurden Oberflächengewässer (OW) und Grundwasser (GW) als getrennte Systeme im hydrologischen Kreislauf betrachtet und kaum interdisziplinär untersucht. In den letzten 15 Jahren hat jedoch das wissenschaftliche Interesse an der Interaktion zwischen OW und GW stark zugenommen (Fleckenstein & Schmidt, 2009). Durch die verstärkte Nutzung der oberflächennahen Geothermie ist auch der Wärmetransport zwischen OW und GW stärker in das Forschungsinteresse gerückt. Eine durch OW-Infiltration bewirkte Erhöhung bzw. Erniedrigung der Grundwassertemperatur kann erheblich die Effizienz eines oberflächennahen geothermischen Systems beeinflussen, was in der Planung der Anlage berücksichtigt werden muss (Allen et al. 2003).

Bisher wurde der thermische Einfluss der Isar auf das GW in München nur oberflächlich erfasst. Nach Dohr (1989) herrschen im südlichen Stadtgebiet bis zur Praterinsel influente Verhältnisse vor. Die Isar infiltriert in diesem Abschnitt in das quartäre GW und erwärmt bzw. kühlt dieses ab. Im nördlichen Stadtgebiet hat sich die Isar bereits ins Tertiär eingeschnitten und besitzt daher kaum einen Einfluss auf das quartäre Grundwasserstockwerk. Um die thermische Interaktion zwischen OW und GW zu erfassen, muss zunächst die hydraulische Interaktion der Isar mit dem Aquifer charakterisiert und quantifiziert werden, da der Wärmetransport vor allem durch Advektion und Dispersion während der Flusswasserinfiltration beeinflusst wird. An drei Testfeldern im Süden Münchens werden Zeitreihen des Grundwasserstandes, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit im GW ermittelt. An der Isar werden Abfluss, Temperatur sowie elektrische Leitfähigkeit aufgezeichnet, statistisch ausgewertet, sowie mit den Grundwasserdaten korreliert, um die Abhängigkeit der Isarinfiltration in das GW zu quantifizieren. Daneben werden Analysen der stabilen Isotope $\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$ durchgeführt um den Anteil von Isarwasserinfiltrat im GW zu bestimmen. Mit Hilfe eines 1D-Dispersionsmodells lassen sich somit Fließzeiten, Fließgeschwindigkeiten sowie Dispersionsparameter der Interaktion berechnen. Mit dieser Arbeit soll zunächst bestimmt werden, welcher Proxy am geeignetsten ist, um die OW-GW-Interaktion im Stadtgebiet zu beschreiben. Des Weiteren sollen die Messungen Aufschluss über den Wärmetransport von der Isar in den quartären Aquifer geben. Da auch Lufttemperatur, Niederschlag, Bodentemperatur sowie anthropogene Faktoren die Grundwassertemperatur beeinflussen, werden auch diese Einflüsse für die Untersuchungen herangezogen.

Erste Ergebnisse von tiefenorientierten Grundwassermessungen zeigen, dass Ost- und Westufer im Stadtgebiet unterschiedlich stark von der Isar beeinflusst werden. Im Süden Münchens wird vor allem das Ostufer von der Isarinfiltration beeinflusst, was sich in den niedrigen Werten der elektrischen Leitfähigkeit im GW widerspiegelt (Abb.1). Je weiter es zur Stadtmitte geht, desto mehr lässt der Isareinfluss am Ostufer nach und nimmt am Westufer zu.

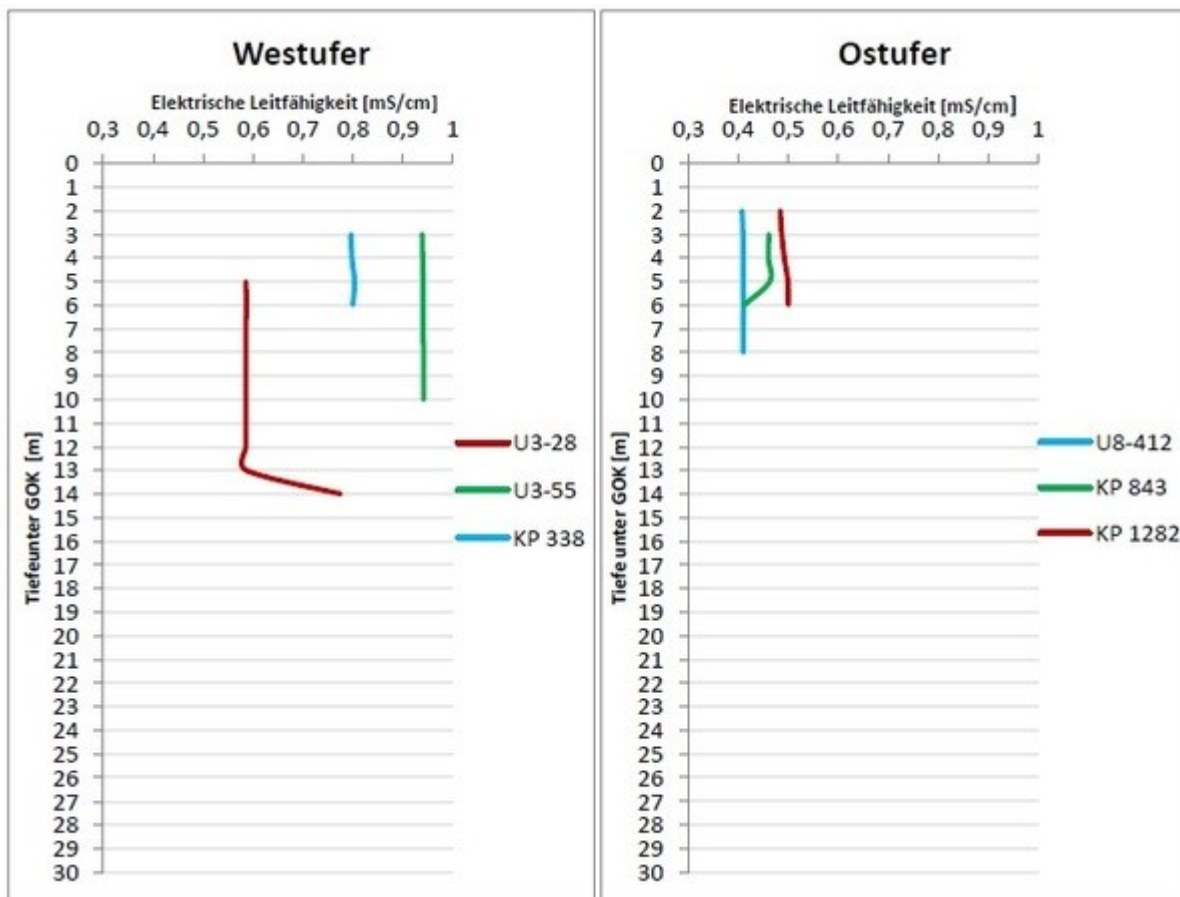


Abb.1: Tiefenprofile der elektrischen Leitfähigkeit im südlichen Stadtgebiet. (Bichlmeier 2013)

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.

Bichlmeier, M. (2013): Untersuchungen zu tiefenorientierten Grundwassertemperaturen im quartären Grundwasserleiter Münchens entlang der Isar. - Bachelorarbeit, TU München, 49 S.

Dohr, F. (1989): Die Grundwassertemperatur in dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk des Stadtgebietes München.- Diss., München: Ludwig-Maximilians-Universität, 162 S.

Fleckenstein, J.H. & Schmidt, C. (2009): Themenheft: Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen. – Editorial, *Grundwasser* 14(3), 161-162.

P 9.8

Steuerung von Grundwasser(hoch-)ständen in urbanen Gebieten

FRIDO REINSTORF¹, STEFANIE KRAMER¹, THOMAS KOCH, SVEN SEIFARTH, BERND PFÜTZNER

¹ Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft, Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: frido.reinstorf@hs-magdeburg.de

Weite Teile Sachsen-Anhalts sind von hohen Grundwasserständen betroffen. Diese resultieren aus überdurchschnittlich hohen Niederschlägen, Hochwasserereignissen und der Außerbetriebnahme von lokalen Wassergewinnungsanlagen. Besonders prekär wirken sich die dadurch entstehenden Vernässungen in urbanen Gebieten aus. Am Beispiel der Vernässungsproblematik der Stadt Schönebeck (Elbe) wird erläutert, welche Möglichkeiten zur Steuerung von Grundwasserständen

bestehen und wie ein nachhaltiges Grundwassermanagement in der Stadt durchgeführt werden kann. Die Methodik ist grundsätzlich auf andere Standorte und Regionen übertragbar. Das Ziel der Arbeiten besteht insbesondere darin, Maßnahmen zu finden, die im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse, möglichst geringe finanzielle Belastungen für die Kommune und die Bürger erzeugen. Es werden daher passive Grundwasserabsenkungen prioritär untersucht bzw. wo erforderlich, optimale Kombinationen von passiven und aktiven Maßnahmen geprüft. Zur Bewertung der Effizienz der Maßnahmen wurde eine Kopplung zwischen einem Grundwasserströmungs- und einem Wasserhaushaltsmodell durchgeführt. Zur Bewertung der Maßnahmen wurden unter Hinzuziehung eines hoch aufgelösten Digitalen Geländemodells (DGM) räumlich differenzierte Zielgrundwasserstände ermittelt. Dadurch kann auf ein pauschales Absenkungsziel verzichtet werden und durch eine hoch differenzierte Bewertung ersetzt werden. Dies ermöglicht das Finden kosteneffizienter und nachhaltiger Lösungen. Als Ergebnis wurde ein Maßnahmenpaket entwickelt, das eine adaptive Steuerung des Grundwasserregimes der Stadt ermöglicht.

ALBRECHT (1976): Studie Modellierung Schönebeck, VEB Hydrogeologie, 1976.

BECKER, et al (2002): The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.), Autoren: Becker, A., Klöcking, B., Lahmer, W., Pfützner, B., Water Resources Publications, Littleton/ Colorado, 2002, 321-384. ISBN 1-887201-34.

DIERSCH, D. u.a. (2012): Feflow 6.1, Users manual, DHI-Wasy GmbH, Berlin, Germany

GIP (2012): Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden; Bericht Hochwasserschutz Schönebeck Grundlagenermittlung und Vorplanung Siel / Schöpfwerk am Solkanal

HAD (2000): Hydrologischer Atlas von Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin 2000, ISBN 3-00-005624-6.

HATTERMANN, F., M. Wattenbach, V. Krysanova und F. Wechsung (2005): "Runoff simulations on the macroscale with the ecohydrological model SWIM in the Elbe catchment-validation and uncertainty analysis." Hydrological Processes 19(3): 693-714

IfUW (2003): Gutachten zum Ausbau von Grabensystemen und deren Auswirkungen auf die Grundwasserstände im Raum Felgeleben, Autoren: Erhard, K.H., Meyer, K., Ingenieurbüro für Umweltgeologie und Wasserwirtschaft, Hydrologisches Gutachten an die Stadt Schönebeck, Mai 2003.

IfUW (1995): Hydrogeologisches Gutachten und Vorplanung zur GW-Absenkung Schönebeck/Felgeleben, Autoren: Erhard, K.H., Meyer, K., Ingenieurbüro für Umweltgeologie und Wasserwirtschaft, Hydrologisches Gutachten an die Stadt Schönebeck, Mai 1995.

IVW (2012): Gutachten zur Konzeption von Maßnahmen zur Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation im Raum Schönebeck - Teilberichte zum Abfanggraben und zur Tiefendränage an das Amt für Landwirtschaft, Flurneuordnung und Forsten

JÄGER (1993): Hydrogeologische Modellierung als Grundlage der Konfliktbewertung Wasser- und Kiesgewinnung Landkreis Schönebeck, HGN GmbH, 1993.

KIES (1993): Hydrogeologische Studie Landkreis Schönebeck, Hydrogeologie GmbH Ingenieurgesellschaft für Grundwasser-Boden-Umwelt, 07.01.1993.

KRAMER (2012): Bauwerksabdichtung zum Schutz von Wohngebäuden bei Anstieg des Grundwasserstandes, Autorin: Kramer, C., Bachelorarbeit HTWK Leipzig in Kooperation mit der Hochschule Magdeburg-Stendal, 01.11.2012.

KRYSANOVA, V., D. I. Müller-Wohlfeil und A.Becker (1998): "Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds." Ecological Modelling 106(2-3): 261-289.

OEWA (2011): Aufbau eines Grundwassermanagements für die Stadt Schönebeck, OEWA Wasser und

P 9.9

Visualisierung hydrogeologischer Strukturen mit dem MO2GEO Explorer

LARS SCHIMPF¹, WOLFGANG GOSSEL¹

¹ Fachgebiet Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle

Kontakt: wolfgang.gossel@geo.uni-halle.de

Das OpenSource Tool MO2GEO Explorer wird von der Fachgruppe Hydro- und Umweltgeologie entwickelt, um geologische 3D-Modelle der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Das Programm soll dabei nicht ausschließlich auf die Visualisierung der Daten ausgerichtet sein, sondern auch die Möglichkeiten der Interaktion und der Erstellung neuer Inhalte einbeziehen. Die wesentlichen Schwerpunkte der Entwicklung des Werkzeugs stellen unterschiedliche Import- und Export-Datenformate, 2D- und 3D-Visualisierung, sowie die Erstellung von virtuellen Bohrungen und Profilschnitten dar.

Die Vielzahl verschiedener Modellierungswerkzeuge (gOCad, move etc.) mit ihren jeweiligen Exportformaten macht es notwendig, den MO2GEO Explorer mit den entsprechenden Funktionalitäten auszustatten. Dies beinhaltet die Implementierung der folgenden Datenformate: Esri GRID, Surfer grid, gOCad ASCII und DXF. Während der Entwicklung stellte sich jedoch heraus, dass die exportierten Modelldaten nicht lückenlos und ohne weitere Bearbeitung in die Visualisierungs-Pipeline eingefügt werden können, sodass eine Überarbeitung und Optimierung der Geometrien erfolgen muss. Um eine effiziente Nutzung der Computerressourcen zu gewährleisten, was insbesondere für große high-poly Modelle notwendig ist, wurden RAM-unabhängige OpenGL 3.2 (Visualisierung) und OpenMP (Berechnungen) Routinen implementiert. Die Visualisierung der Modelle erfolgt in frei kalibrierbaren Viewports, die sowohl perspektivische, als auch orthographische Projektionen unterstützen. Gleichzeitig können für unterschiedliche Zwecke verschiedene Szenenbeleuchtungen festgelegt werden. Neben den gängigen Betrachtungsoptionen ist es auch möglich, die Modelldaten überhöht und vertikal separiert darzustellen, sowie Schichten ein- oder auszublenden.

Die Erstellung von virtuellen Bohrungen und Profilschnitten aus den Modelldaten unabhängig von Modellierungswerkzeugen erweitert den künftigen Nutzungsbereich sowie die Verbreitung der 3D-Modelle ungemein und erlaubt eine direkte Interaktion mit dem Modellen. Dabei ist die Qualität der gewonnenen Daten direkt von den zugrunde liegenden Daten abhängig. Die entsprechenden Stützpunkte für Bohrungen und Profilschnitte können per Mausklick oder durch direkte Eingabe der Koordinaten festgelegt werden. Um die Geometrien zu berechnen, werden verschiedene Ray-Tracing und Ray-Triangle-Intersection Algorithmen verwendet. Die verwendeten Methoden eignen sich sowohl für stratiforme, als auch für komplexe Schichtkörper (Linsen, Störungen etc.).

Neben der Möglichkeit, die erzeugten Bohrungen und Profilschnitte in dem programminternen Format abzuspeichern, können diese auch als einfache XYZ-Datensätze oder als Bilddatei exportiert werden. Das interne Format beinhaltet außerdem sämtliche Kamera- und Beleuchtungsjustierungen, sowie generelle Einstellungen, was letztendlich in einem Projekt zusammen gefasst wird, um ein einfacheres Arbeiten zu gewährleisten.

Quantifying the influence of subsurface constructions on groundwater temperature - underground and suburban railway, subterranean garage and cellar, district heating network, and ductwork

GABRIELLA ZSÓFIA SOMOGYI¹, KAI ZOSSEDER¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

Kontakt: gabriella.somogyi@tum.de

Urban areas typically show local increases in groundwater temperature known as ‘heat-island’ effect (Oke 1973). It is revealed that hotspots of up to 4 K above the average rural groundwater temperature often exist, which stem from anthropogenic heat sources such as surface sealing, underground and suburban railway tunnel system, district heating networks, open geothermal systems, subterranean garages, and cellars as well as ductworks (Menberg et al. 2013). Local increases in groundwater temperature (GWT) was detected in Munich according to own measurements in more than 200 observations wells in 2012-2013. An increase of up to 3 K in groundwater temperature can produce a remarkable improvement both in the output and in the efficiency of a shallow geothermal system (Allen et al. 2003). However, this effect can also reduce the efficiency of cooling systems. The aim of this study is to clarify the thermal influence of every relevant subterranean construction on the urban groundwater body of Munich and to predict their effects. Our main interest is the total heat flow $Q(x,y,z,t)$ from the construction to the aquifer which can be utilized to generate low enthalpy geothermal energy. The heat flow to the ground/groundwater from a subterranean construction depends on complex thermal processes in the ground and on large number of parameters involved in construction geometry. Early articles deal with the steady-state heat loss for the two-dimensional case and consider pure heat conduction in a homogeneous, semi-infinite ground with constant thermal properties (Mitalas 1982). Convective heat transfer under groundwater flow conditions is usually neglected or it is determined by the fact that the groundwater temperature is equal to the mean soil surface temperature (Claesson & Hagentoft 1991). Under consideration of heat transfer by flowing groundwater and the strong variability of the soil surface temperature, it is a coupled three-dimensional, time-dependent thermal conductivity and convective heat transfer problem, which can be approximated by numerical methods. The scientific approach of this study is based on the following steps: (1) determination of reference systems, analytical model, (2) laboratory-heat-flow-tank-experiments, (3) numerical heat flow model, and (4) field observations. Here, we present detailed calculations and modeling of heat flow from subsurface constructions to the ground, which can be carried out by means of the finite element method (FEM)-based computer software FEFLOW[®]. The heat flow model in Fig. 2 was validated by comparison with data from the literature and analytical formulas. It shows the distribution of the temperature around a 2.5 m deep cellar, surrounded by groundwater with flow velocity of 0.7 m/d. This article also shows the first results of the current 2D-heat-flow-laboratory-tank experiments.

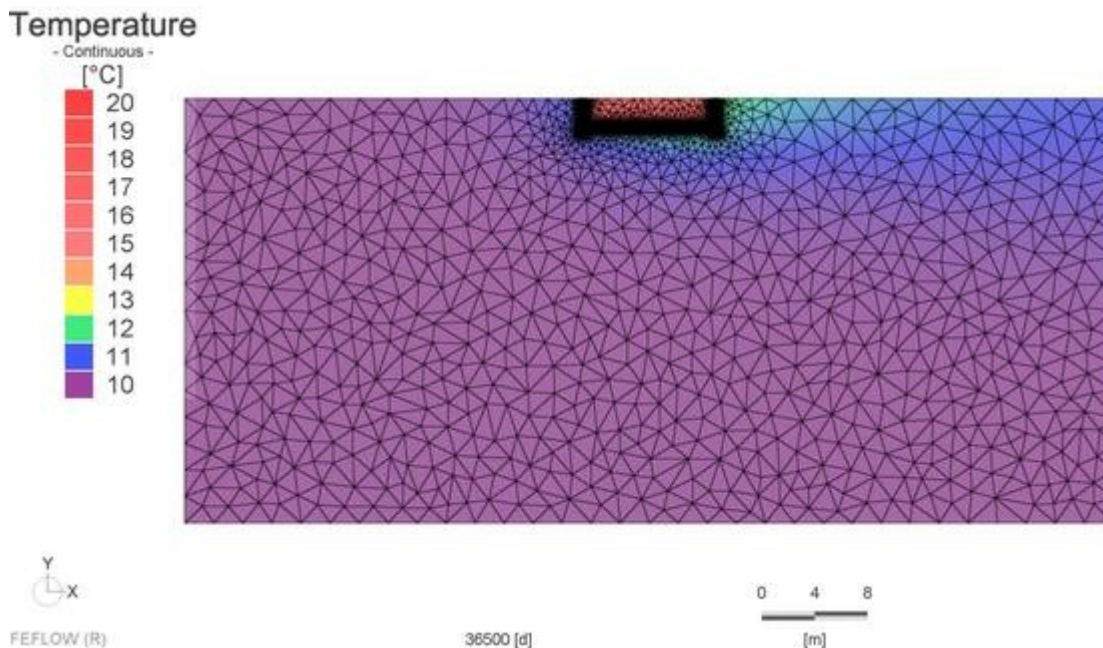


Fig. 2: Temperature distribution around a 2.5 m deep cellar with groundwater flow velocity of 0.7 m/d.

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.

Claesson, J. & Hagentoft, C.-E. (1991): Heat loss to the ground from a building - I. General Theory. - *Building and Environment*, 26(2): 195-208.

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.

Mitalas, GP. (1982): Basement heat loss studies at DBR/NRC. – DBR Paper No. 1045, Division of Building Research, National Research Council of Canada.

Oke, T.R. (1973): City size and the urban heat island. - *Atmospheric Environment*, 7: 769-779.

P 9.11

GEPO – Geothermisches Potenzial der Münchener Schotterebene: Abschätzung des geothermischen Potenzials und Untersuchung der flächenhaft variierenden Grundwassertemperaturen im oberflächennahen Untergrund des quartären Grundwasserleiters München

KAI ZOSEDER¹, LILIAN CHAVEZ-KUS¹, MARCO KERL¹, BERNHARD WAGNER², BARBARA KAINZMAIER², PATRICK KOTYLA¹, GABRIELLA SOMOGYI¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

² Landesamt für Umwelt Bayern

Kontakt: kai.zosseder@tum.de

Im Bereich der Wärme- und Kälteerzeugung kann die oberflächennahe Geothermie, insbesondere die thermische Nutzung von Grundwasser als erneuerbare Energiequelle eine entscheidende Rolle spielen und erheblich zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen. Voraussetzung hierfür sind geeignete naturgegebene Rahmenbedingungen, welche in der Münchener Schotterebene generell

in nahezu idealer Weise erfüllt sind. Dennoch hängen die Einsatzmöglichkeiten und Dimensionierung der geothermischen Anlagen maßgeblich von den jeweiligen lokalen Standortverhältnissen ab. Flächendeckende Informationsgrundlagen über die hydrogeologischen und thermischen Verhältnisse sowie deren Dynamik sind somit wichtig für Planung, Auslegung und Genehmigungsfähigkeit der Anlagen und den späteren wirtschaftlichen Betrieb. Durch eine Optimierung bestehender und noch zu planender Anlagen und die Integration ihrer möglichen gegenseitigen Beeinflussung in ein Nutzungskonzept könnte das geothermische Potenzial noch um einiges effizienter genutzt werden.

Um im Großraum München die geothermische Informationsgrundlage zu verbessern und die Optimierungsmöglichkeiten für die geothermischen Anlagen zu analysieren hat der Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU München in Kooperation mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) das Projekt „GEPO – Geothermisches Potenzial der Münchener Schotterebene“ ins Leben gerufen. Ziele des Projektes sind unter anderem auch die thermischen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Systemen zu beschreiben, wie der Einfluss von Flüssen und Untergrundbauwerken auf die Grundwassertemperatur und die Bestimmung der Wärmespeicherung im Lockergestein des Grundwasserleiters.

Im Projekt wurde die Raum-zeitliche Verteilung der Grundwassertemperaturen anhand flächendeckender Messzyklen der Grundwassertemperatur aus den Jahren 1983-2010 ausgewertet. Bei einer jahreszeitlich getrennten Auswertung konnte ein Anstieg der Grundwassertemperatur im urbanen Raum festgestellt werden, der sich allerdings nur in den Sommermonaten deutlich ausgeprägt zeigt. Generell wurde beobachtet, dass die Erwärmung und Abkühlung des Grundwasserkörpers über die Jahre zeitlich sehr heterogen verläuft.

Zudem wurden anhand von tiefenvariieren Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen sowie statistischen multivariaten Analysen untersucht, welche Einflüsse die Grundwassertemperaturen im urbanen Raum bestimmen. Es stellte sich heraus, dass die wechselnde Grundwassermächtigkeit in Kombination mit dem sich ändernden Flurabstand ein signifikanter Faktor für die flächenhaft variierende Grundwassertemperatur im quartären Grundwasserleiter Münchens ist.

Das Projekt ist Teil der „Informationsoffensive oberflächennahe Geothermie“ des LfU und wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) finanziert.

10 Hydrogeology of arid zones

Oral Presentations

O 10.1: H17, NW II, 30.05.2014, 17:20-17:40

Zur Hydrogeologie der Rub' Al Khali Wüste in Saudi Arabien

TILMAN MIESELER¹, RANDOLF RAUSCH², HEIKO DIRKS¹, JENS PIEPENBREIER¹, TOBIAS FUEST¹,
HUSSAIN AL AJMI³

¹ Dornier Consulting

² GIZ International Services

³ Ministry of Water & Electricity

Kontakt: randolf.rausch@gizdco.com

Seit 2011 untersuchen GIZ IS und Dornier Consulting im Auftrag des Ministry of Water & Electricity die Grundwasservorkommen in der Rub' Al Khali Wüste Saudi Arabiens. Die Rub' Al Khali Wüste liegt im Südosten des Königreichs.

Im Rahmen der Studie wurden 12 Bohrungen mit einer Gesamtböhrlänge von 15.000 m abgeteuft. Daneben wurden zur weiteren Erkundung des Untergrundes für Teilbereiche geophysikalische Untersuchungen durchgeführt, die durch bohrlochgeophysikalische Messungen ergänzt wurden. Zur Ermittlung der Aquiferparameter wurden ca. 30 Pumpversuche gefahren. Insgesamt wurden mehr als 100 Wasserproben zur Bestimmung der Hydrochemie sowie stabiler und instabiler Isotope analysiert. Begleitet wurden diese Untersuchungen durch eine Bestandsaufnahme aller Grundwasseraufschlüsse im Untersuchungsgebiet.

Die untersuchten Schichten sind Teil der Arabischen Plattform und umfassen eine Abfolge von Sedimenten aus Kreide und Tertiär, die eine Gesamtmächtigkeit von bis zu 1.500 m haben. Das Aquifersystem besteht aus mehreren Festgesteinsaquiferen (Sandstein- und Karstaquiferen), die unvollkommen miteinander hydraulisch verbunden, bzw. durch gering durchlässigere Schichten getrennt sind. Hauptaquifere sind der Sandsteinaquifer des Wasia-Biyadh und die Karstaquifere des Umm Er Radhuma und Dammam. Die Aquiferbasis wird von den bis 150 m mächtigen Anhydriten des Hith gebildet.

Die generelle Grundwasserfließrichtung ist von Südwest nach Nordost. Über einen weiten Bereich der Rub' Al Khali hinweg sind die Aquifere artesisch gespannt, teilweise befinden sich die frischwasseräquivalenten Piezometerhöhen 200 m über Gelände. Vorfluter sind Inland- und Küstensabkhen, untergeordnet der Arabische Golf.

Der Gesamtlösungsinhalt der Grundwässer zeigt eine weite Bandbreite zwischen einigen hundert mg/L bis zu 250.000 mg/L. Generell nimmt der Gesamtlösungsinhalt von den Gebieten der Grundwasserneubildung in Richtung auf die Vorfluter zu.

Isotopenuntersuchungen des Grundwassers ergaben maximale Verweilzeiten von 20.000 bis 30.000 Jahren. Das Grundwasseralter nimmt in Fließrichtung zu. Die höchsten Alter werden an der Küste des Arabischen Golfs gemessen. Im Ausbissbereich findet sich aber auch Tritium im Grundwasser, was eine rezente Grundwasserneubildung belegt. Untersuchungen stabiler Isotope (Sauerstoff-18 und Deuterium) zeigen, dass das Grundwasser im Wesentlichen zu Zeiten gebildet wurde, als das Klima feuchter und kühler als heute war. Das bedeutet, dass das in den Aquiferen

gespeicherte Wasser zum größten Teil „fossiles Grundwasser“ ist.

Die Aquifere beherbergen beträchtliche Grundwasserressourcen. Dies gilt vor allem für den Westteil des Untersuchungsgebietes, wo im Umm Er Radhuma und Wasia-Biyadh große Mengen von gering mineralisiertem Grundwasser (Gesamtlösungsinhalt < 2.000 mg/L) gespeichert sind. Der derzeitigen Nutzung stehen jedoch die hohen Transportkosten zu den mehrere hundert Kilometer entfernten potentiellen Nutzern entgegen.

O 10.2: H17, NW II, 30.05.2014, 17:40-18:00

Characterization of water storage dynamics in arid areas by satellite gravimetry

JOHANNES RIEGGER¹, MOHAMMAD TOURIAN²

¹ Institute for Modelling Hydraulic and Environmental Systems, University of Stuttgart

² Institute of Geodesy, University of Stuttgart

Kontakt: riegger@iws.uni-stuttgart.de

In arid areas there are tremendous difficulties to quantify water balances appropriately as actual evapotranspiration ET_a and seepage from surface runoff during precipitation events cannot be measured directly and often river discharge does not occur. Modelling approaches for ET_a are not suitable for a quantification as they show variations in a 30% range between the different models (PILPS/ AMIP Studies). Thus the knowledge of water storage characteristics and their dynamics is essential for the description of the short and long term system behaviour and the related water balance.

Groundbased observations of the storage components are not available on large spatial scales. Measurements of water storage changes by observations of changes in groundwater levels or soil water saturation (Rodell & Famiglietti 1999) are not reliable due to the inadequate density of monitoring points and the insufficiently knowledge of storage coefficients. However regional hydrogeological investigations based on large scale groundwater models (Kalbus et al. 2011) allow to constrain the water balance and thus storage dynamics even for arid areas.

Satellite gravimetry by GRACE provides monthly mass distributions on large spatial scales (>~250000km²) over the globe. For land masses monthly mass variations are interpreted as changes in total water storage of the considered area comprising all contributing storage compartments (snow/ice, surface water, soil, (un)saturated underground) in their vertical as well as in the horizontal distribution. A separation of the contributions from different storages is possible, if the related system dynamics i.e. the corresponding time constants differ sufficiently (Riegger & Güntner, 2005).

In this paper mass signals from GRACE gravimetry with quantified uncertainties (Riegger & Tourian 2012) are used to characterize the water storage dynamics in (semi)arid environments. For a selection of (semi)arid areas the short and long term behaviour of the total water storage is presented. Short term storage changes are used to determine and characterize actual evapotranspiration and compare it to precipitation events. Measurement uncertainties are discussed with respect to their implications on the determination of seasonal behaviour and long term trends.

Kalbus, E., Oswald, S., Wang, W., Kolditz, O., Engelhardt, I., Al Saud, M.I., Rausch, R., 2011: Large-scale modeling of groundwater resources on the Arabian platform. - International Journal of Water Resources and

Arid Environment 1(1): 38-47

Riegger, J. & Güntner, A., 2005: Time variation in hydrology and gravity. – Earth, Moon, and Planets 94: 41-55

Riegger, J. & Tourian, M.J., 2012: Analysis of GRACE uncertainties by hydrological and hydro-meteorological observations. – Journal of Geodynamics, 5960(0), 16-27

Rodell, M. & Famiglietti, J., 1999: Detectability of variations in continental water storage from satellite observation of time dependent gravity field. – Water resour. 35: 2705-2723.

O 10.3: H17, NW II, 30.05.2014, 18:00-18:20

Can smart irrigation technologies reverse saltwater intrusion in an arid area coastal aquifer?

*EDDA KALBUS*¹, *SLIM ZEKRI*²

¹ **Applied Geosciences, German University of Technology in Oman**

² **Natural Resource Economics, Sultan Qaboos University**

Kontakt: edda.kalbus@gutech.edu.om

Excessive pumping of groundwater and the resulting depletion or deterioration of groundwater resources is a major concern in arid areas. The Batinah coastal plain in Northern Oman is particularly affected because extensive agricultural areas in this region require year-round irrigation due to low precipitation rates. The water demand is primarily met by groundwater which is pumped from shallow alluvial aquifers. Since the 1970's, when pumping started, the groundwater levels have been decreasing continuously and today's levels are several meters below sea level near the coastline. Consequently, seawater intrusion caused a deterioration of groundwater quality and numerous farms have been abandoned due to the high salinity of the groundwater used for irrigation. Between 2006 and 2010, the Batinah region lost more than 5,000 hectares of farmland to saltwater intrusion. Less than fifty percent of the farms in the region use sprinkler and drip irrigation technologies. Upgrading all farms to more modern equipment may significantly reduce the water demand which may lead to recovering groundwater levels and possibly to reclamation of farmland previously lost to saltwater intrusion. This study examines the interaction between the adoption of smart irrigation technologies and saltwater intrusion in the coastal aquifer of the Batinah. Forty farms have been selected based on size, type of soil, type of crop, and salinity of irrigation water, and these farms have been equipped with smart energy-water meters to measure daily groundwater pumping. Half of the selected farms are being additionally equipped with low-cost automated smart irrigation and fertilization (fertigation) systems. Water use, yield, and profitability of these farms will be compared to the no-action strategy. A numerical groundwater flow and transport model is used to simulate the effect of reduced pumping rates on seawater intrusion. The results will help encouraging farmers' adoption of the monitoring system and modernize farms for sustainable agriculture. Further groundwater management options, such as the construction of groundwater recharge dams and individual quota can be included in the study in order to find a feasible strategy to combat seawater intrusion in the Batinah and protect both the water resources and the farmers' welfare.

Changes in environment as land-use and population growth cause significant change in recharge in the City of Jeddah in Saudi Arabia

ANGELA PREIN¹

¹ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Kontakt: einprein@web.de

Changes in land-use and population do not necessarily lead to groundwater depletion, but could instead result in rising groundwater levels, which can cause severe problems. In the course of the refurbishment and expansion programme for the Holy City of Mecca (KSA), Jeddah Airport is being expanded to a greater capacity; in this context, rapid development of residential areas of Jeddah is underway. During the last decade, several flash floods and rising groundwater levels have been observed. The latter are affecting the foundations of buildings due to uplift and corrosion by highly mineralized water.

One of the objectives of the study is to investigate the causes of the measured groundwater rise. Groundwater hydrographs clearly show impacts of natural climatic and hydrologic changes over the last 30 years. Possibly, anthropogenic impacts might arise from leakages from water supply and waste water systems. In addition, reasons for groundwater rise in this arid area are climatic impacts by increased precipitation or from an enhanced recharge via wadi leakage or flood control reservoirs.

To quantify the problem informations about the development of population and land-use, the location of wastewater dumping and of large pipelines and wastewater treatment plants were collected. In addition, tools like analysis of catchment areas and groundwater model were used. Assumptions have been made regarding the water loss from networks, the indirect recharge in wadi areas, the future Sea level rise and the extinction depth of evaporation.

In order to identify and quantify possible contributions to groundwater recharge, a numerical groundwater model has been developed comprising an investigation of the local water balance. Information from many shallow boreholes and few deep boreholes comprising stratigraphy and hydraulic parameters were incorporated. The spatial distribution of recharge were taken from the analysis of existing and planned water supply and wastewater networks. The knowledge from geophysical investigations about the aquifer thickness and the permeability was used for the transient calibration of the groundwater flow model.

The modelling results show that indeed the anthropogenic recharge caused by leakage from water infrastructure is the most important source of the groundwater level rise. Thus, to improve the model accuracy a methodology is needed to cope with limited data availability regarding the leakage from networks.

Estimation of Evaporation in Sabkhas on the Arabian Peninsula

STEPHAN SCHULZ¹, MARCEL HOROVITZ¹, RANDOLF RAUSCH², MAXIMILIAN KÖHNE¹, CHRISTIAN SIEBERT¹, RALF MERZ¹, NILS MICHELSEN³, MOHAMMED AL-SAUD⁴, CHRISTOPH SCHÜTH³

¹ Helmholtz–Centre for Environmental Research UFZ

² GIZ International Services and TU Darmstadt, Institute of Applied Geosciences

³ TU Darmstadt, Institute of Applied Geosciences

⁴ Ministry of Water & Electricity, Kingdom of Saudi Arabia

Kontakt: stephan.schulz@ufz.de

Sabkhas are salt flats with a shallow saline water table. Generally, it is possible to distinguish between two types of sabkha - coastal and inland. On the Arabian Peninsula, coastal sabkhas are located along the coastline of the Arabian Gulf. Inland sabkhas predominantly occur in the eastern part of the Rub' Al Khali desert (Schott et al. 2008). Generally, sabkha soil matrix consists of siliciclastic sediments and evaporates (e.g. gypsum and anhydrite nodules). Capillary rise occurs from depths of up to 2 m, depending on soil texture (Sultan et al. 2008). Sabkhas are important natural sinks of the Upper Mega Aquifer System (Al-Saafin 1996). Unfortunately, assumptions widely vary about the amount of groundwater evaporation taking place in sabkhas. Shehata and Lotfi (1993) estimated the annual evaporation in Sabkhas to be 120 mm; in contrast, GDC (1980) assumed more than 400 mm/a. Besides, sources of the evaporating water in coastal Sabkhas have not yet been adequately investigated. It is not exactly known whether the saline water table is supplied only by ascending groundwater or whether it is supplied by seawater intrusion up to a certain distance from the coast. This leads to the conclusion that additional investigations are needed for a more reliable estimation of groundwater evaporation in sabkhas.

In this study, sabkha evaporation will be derived from a column experiment. Four soil cores (height: 50 cm, diameter: 16 cm) from different places (Al-Budu, Yabrin, sabkha Matti and an interdune sabkha in the Rub' Al Khali desert) are taken with specially developed sampling equipment. During the column experiment it is possible to vary different boundary conditions, such as temperature and humidity of the surface, and water level. For a reliable estimation of evaporation, it is necessary to transfer results from the column experiment to field conditions. This makes an on-site monitoring of these parameters essential. For this purpose, a 3.5 m deep well was installed in the Al-Budu sabkha and equipped with groundwater data logger. Additionally, a temperature and humidity data logger was installed at the surface. First results from this experiment indicate a lower evaporation rate (less than 100 mm/a) than previously assumed.

For the quantification of sabkha evaporation as a major sink of the groundwater resources, it is important to determine the sources of the evaporating water especially in coastal sabkhas. Therefore, sabkha water was sampled at several locations with increasing distance to the sea. Reference samples were taken in the Arabian Gulf and in various wells. These samples are analysed for chloride-bromide ratio, potassium-bromide ratio and delta ³⁴S. Here, the clear picture resulted that coastal sabkhas are strongly influenced by seawater intrusion up to a few kilometres from the coast – those parts cannot be seen as a sink term of the groundwater system.

Al-Saafin, A.K. (1996): The Characterization of Sabkhas in the Eastern Parts of Saudi Arabia and its Implications for Engineering. Dissertation, Department of Engineering – Queen Mary and Westfield College, University of London

GDC (1980): Hydrology. Groundwater Development Consultants International. Report Vol. 3, Annex C In: Umm Er Radhuma Study

Schott, U., Faber, P., Jensen, H., Rausch, R. (2008): Groundwater Evaporation from Sabkhas in the Northern Rub' Al Khali Desert – Identification and Characterization of Active Sabkha Areas. – FH-DGG-Tagung 2008. Schriftenreihe der Deutschen Geol. Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 57, S. 170; Hannover.

Shehata, W., Lotfi, H. (1993): Preconstruction Solution for Groundwater Rise in Sabkha. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 47: 145-150

Sultan, M., Sturchio, N., Al-Sefry, S., Milewski, A., Becker, R., Nasr, I., Sagintayeval, Z. (2008): Geochemical, Isotopic, and Remote Sensing Constraints on the Origin and Evolution of the Rub Al Khali Aquifer System, Arabian Peninsula. Journal of Hydrology 356: 70-83

O 10.6: H17, NW II, 30.05.2014, 19:00-19:20

Comparison of methods for estimation of recharge, specific yield and parameters of water balance in irrigated agriculture areas: A case study in Punjab, Pakistan

*MOHAMMAD USMAN*¹, *RUDOLF LIEDL*¹

¹ **Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden**

Kontakt: rudolf.liedl@mailbox.tu-dresden.de

Recharge estimation is believed to be the most difficult but also a very important component in the water balance equation and hence cannot be ignored in hydrological modeling of any humid or semi arid region. In the current study a water balance approach is developed considering all important water inputs and outputs and results are utilized jointly with the water table fluctuation (WTF) approach to estimate the specific yield. A distinct change in key parameters of the water balance equation during winter and summer seasons in a heavily crop cultivated area of Punjab, Pakistan, makes it possible to determine specific yield in winter. Later, this specific yield is compared with interpolated specific yield from well logs (point measurements) and then for estimation of recharge for the summer season. The advantage of this method is to determine specific yield and then recharge at the scale of interest without requirements of a number of in situ measurements. This allows to circumvent the main problem in the WTF approach where well distributed water level measurements along with specific yield throughout the unconfined aquifer are a prerequisite.

O 10.7: H17, NW II, 30.05.2014, 19:20-19:40

A novel strategy for estimating groundwater recharge in arid mountain regions and its application to parts of the Jebel Akhdar Mountains (Sultanate of Oman)

*ALEXANDER GERNER*¹

¹ **Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH**

Kontakt: Alexander.Gerner@hydro-consult.de

In arid regions, mountain catchments are the major contributor to the total natural water yield. Due to generally low groundwater tables, subsurface underflow is important in distinction to the surface

runoff at the mountain front. The extent of the groundwater basin is hereby often vague. Approaches to assess the subsurface fluxes are mostly based on groundwater data and integrate over time and space. This, however, cannot provide prognostic and time-dependent estimates of subsurface inflow to the adjacent alluvial basin aquifer. Consequently, the proposed strategy builds on rainfall based approaches. Temporal and spatial resolution is in this case mostly limited by data scarcity regarding hydrological characteristics of the catchment area and high-resolution rainfall data.

The proposed novel strategy combines three approaches to tackle these challenges. A newly developed conceptual hydrologic model provides time-dependent estimates based on fully distributed monthly rainfall. For distinct response units and seasons, non-linear relationships between rainfall and recharge describe the hydrogeologic response. The derivation of the response functions is based on a mass balance and considers the principal recharge mechanisms. Parameterisation makes use of available expert knowledge on geomorphology and seasonal rainfall characteristics. As an efficient tool to assess uncertainties, fuzzy arithmetic is used for complementary long-term average water balance estimates. This technique allows considering fuzziness in rainfall input, crop water use in mountain oases, and best available assumptions on recharge as portion of rainfall. Uncertainty regarding the potential, albeit unknown extent of groundwater basins is portrayed based on fuzzy regions, i.e. continuous surfaces which represent geographic entities. Distinct subsets of these fuzzy regions represent potential groundwater basins for water balance assessment.

The proposed strategy has been applied on the large scale in an arid karst mountain range in northern Oman. The two complementary assessment approaches result in similar ranges of values. They are in good agreement with inversely computed inflow to a steady state groundwater model for the adjacent basin aquifer. The results of the conceptual hydrologic model are confirmed by the plausibility of average recharge rates for distinct response units and seasons.

GERNER, A., N. SCHÜTZE, and G. H. SCHMITZ (2012): Portrayal of fuzzy recharge areas for water balance modelling – a case study in northern Oman, *Adv. Geosci.*, 31, 1-7, doi:10.5194/adgeo-31-1-2012.

GERNER, A. (2014): A novel strategy for estimating groundwater recharge in arid mountain regions and its application to parts of the Jebel Akhdar Mountains (Sultanate of Oman). *Dresdner Schriften zur Hydrologie*, Band 11. TU Dresden, Dresden. 128 pp. nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-137045 (March 10, 2014).

Poster

P 10.2

Conceptualization of the Process of Aquifer Recharge: A Combined Interpretation of Physico-Chemical, Isotopic, and Basic Basin Attributes

AYCHLUHIM DEBEBE DAMTEW¹, STEFAN WOHNLICH¹

¹ Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: Aychluhim.Damtew@rub.de

This study is carried out in the southwestern part of the Main Ethiopian Rift Valley where over 90% of domestic and industrial water supplies are sourced from groundwater yet little is known about the sources and mechanisms of recharge that sustains this resource. Interpretations on physico-chemical properties and isotopic concentrations measured in water samples collected from springs, shallow and deep aquifers, cold, warm, and thermal waters, rivers, and lakes combined with some of the basic basin attributes that majorly influence on the process of aquifer recharge reveal the existence of four different mechanisms of recharge, and atmosphere-derived waters as major sources to replenish the different aquifer systems in the basin. Each of the objectively divided sections of the basin displays different mechanisms by which source waters transport to aquifer systems in the respective sections. Four major groundwater recharge characteristics are identified in the basin that includes structure-controlled and non-structure-controlled recharges. The other recharge characteristics particularly observed in the northern and northeastern parts of the study area take account of the amount of precipitation whereas, the shore aquifers in the southern-half of the basin seen to receive no recharge from the two major tectonic Lakes, rather the shallow aquifers in this zone are recharged in a diffuse mechanism via the unsaturated quaternary covers from atmosphere-derived waters and near-surface-ponded sources in a rather slow rate. A combined mechanism of diffuse and fracture-controlled recharge feeds the deeper aquifers in this shore section. It could be concluded that these approach help unveil the different recharge mechanisms and sources in areas that are scantily researched and where hydrogeological and hydrological measurements are costly to acquire.

P 10.5

Infiltration and Artificial Recharge at the Al-Alb Dam, Riyadh

FRITZ KALWA¹, SEBASTIAN BAUER¹, RANDOLF RAUSCH²

¹ Institut für Geowissenschaften - CAU Kiel

² GIZ International Services, Riyadh, Saudi Arabia

Kontakt: fritz.kalwa@web.de

The more than 250 dams in Saudi-Arabia are filled up by flash floods regularly. Due to the huge amounts of sediments which are carried into the barrier lakes by flash floods, the lake beds consist of fine-grained, low-permeable sediment, resulting in very slow infiltration and a long superficial sojourn time with high evaporation losses.

The study is set up to evaluate two different techniques for improving the infiltration/evaporation ratio - via slug wells or via percolation through the higher permeable downstream sediments -

using the example of the Al-Alb Dam near Riyadh. To compare the effect of slug wells, downstream percolation and pure lake bed infiltration, three different scenarios were set up for the discharge after a rainfall event.

To estimate the effect of slug wells, the barrier lake, wherein slug wells had been installed several years ago, was observed over a long time after a rainfall event. For an estimation of infiltration via the sediments inside the lake and downstream of the dam, double-ring infiltrometer tests (DRIT) and a laboratory permeameter after Hartge (1966) were executed. Both methods showed comparable results, but also revealed problems for some soil types. Lateral leakage via mud cracks in the very fine-grained lake-bed sediment during execution of DRIT caused problems, as well as problematic conditions for sample-taking for the permeameter - especially from very coarse-grained soils.

Both the flooding of the downstream sediments as well as the installation of slug wells increases the infiltration/evaporation ratio significantly. Since results for both techniques range in a similar magnitude, neither of the two shows a clear advantage compared to the other one.

Bouwer H. (2002): Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering. Hydrogeology Journal, 10: pp 121-143

Hartge K.H. (1966): Ein Haubenpermeameter zur schnellen Durchmessung zahlreicher Stechzylinderproben. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 7: pp 155–163.

MoAW/Ministry of Agriculture and Water (1984): Water Atlas of Saudi-Arabia. Riyadh. 112 pp

Sorman U. S., Abdulrazzak M.J. (1993): Infiltration-recharge through wadi beds in arid regions. Hydrological Sciences –Journal- des Sciences Hydrologiques, 38,3, 6/1993: pp 173-186

P 10.6

Natural Groundwater Radioactivity of Selected Saudi Arabian Aquifers

NILS MICHELSEN¹, MICHAEL SCHUBERT², ALEXANDER BASSIS¹, CHRISTOPH SCHÜTH¹, RANDOLF RAUSCH³, MOHAMMED AL-SAUD⁴

¹ TU Darmstadt, Institute for Applied Geosciences

² Helmholtz-Centre for Environmental Research – UFZ, Leipzig

³ GIZ International Services, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia

⁴ Ministry of Water & Electricity, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia

Kontakt: n.michelsen@gmx.de

Water supply in semi-arid and arid regions often relies on non-renewable, fossil groundwater from deep aquifers. Aiming at an efficient “mining” of the limited resources, a sound understanding of the aquifer systems is crucial, referring to both available water quantities and qualities. With respect to the latter, standard analyses usually focus on major ions and selected trace elements, but do not comprise radionuclides, which however might be present in significant concentrations (compare Vengosh et al. 2009).

In order to find out whether Saudi Arabian groundwaters are subject to this phenomenon as well, samples were obtained from several aquifers. As the sandstones of the Kingdom are directly or indirectly derived from granites, which are generally known to feature appreciable amounts of incompatible elements such as uranium and thorium, these strata are probably more prone to the issue. Hence, emphasis was placed upon sandstone aquifers. For reference, however, also

selected limestone aquifers were studied. All water samples were analyzed for uranium-234, uranium-238, radium-226, and radium-228.

Although uranium is known to occur in the aquifer matrix, the corresponding radionuclide activity concentrations are for the most part low to moderate and range well below their corresponding nuclide-specific WHO guideline values. From a radio-ecological perspective, the uranium isotopes are thus only of minor importance. With a few exceptions also radium-226 shows activities that do not exceed its threshold value. Radium-228, by contrast, frequently occurs in appreciable concentrations. Partly, also the guideline value of 100 mBq/l is exceeded, particularly in samples from sandstone aquifers. Distribution maps created for the studied aquifers do mostly not reveal clear spatial trends, i.e., radium-228 appears erratically. An inter-aquifer comparison however shows that elevated activities are more common in the older clastic strata cropping out in the eastern part of the country. This suggests that the depositional setting of the aquifer, particularly its distance to the Arabian-Nubian Shield, plays a significant role. Considering these findings, thorium-bearing heavy minerals in the sandstone aquifers, originating from the crystalline basement complex, seem to be a plausible source for the encountered radium-228. Due to the fact that radium isotope ratios differ between sandstone and limestone aquifers, they might provide considerable fingerprinting potential.

Vengosh, A., Hirschfeld, D., Vinson, D., Dwyer, G., Raanan, H., Rimawi, O., Al-Zoubi, A., Akkawi, E., Marie, A., Haquin, G., Zaarur, S. & Ganor, J. (2009): High Naturally Occurring Radioactivity in Fossil Groundwater from the Middle East. - Environ. Sci. Technol., 43: 1769-1775.

P 10.9

Zur Hydrogeologie des „Oberen Mega-Aquifer-Systems“ auf der Arabischen Halbinsel

RANDOLF RAUSCH¹, HEIKO DIRKS², TILMAN MIESELER², TOBIAS FUEST², HUSSAIN AL AJMI³

¹ Water Resources Studies, GIZ International Services

² Dornier Consulting

³ Ministry of Water & Electricity

Kontakt: randolf.rausch@gizdco.com

Mit einer Ausdehnung von etwa 1.860.000 km² ist das Obere Mega-Aquifer-System auf der Arabischen Halbinsel eines der größten Aquifer-Systeme der Welt. Es besteht aus mehreren Festgesteinsaquiferen (Sandstein- und Karstaquiferen), die miteinander unvollkommen hydraulisch verbunden sind. Hauptaquifere sind der Sandsteinaquifer des Wasia-Biyadh und die Karstaquifere des Umm Er Radhuma und Dammam. Aufgrund der guten Wasserqualität und der hohen Ergiebigkeit wird das Grundwasservorkommen intensiv genutzt, was zum Aufbrauch der Grundwasserressourcen führt.

Die generelle Grundwasserfließrichtung erfolgt von Südwest nach Nordost. Dies gilt für alle Aquifere innerhalb des Aquifer-Systems, wobei große Differenzen in den Piezometerhöhen zwischen den einzelnen Aquiferen auftreten. Die Vorfluter sind vor allem Küsten- und Inlandsabkhen. Das Euphrat-Tigris Becken, der Arabische Golf, sowie wenige Quellen im Osten der Arabischen Plattform sind von nachgeordneter Bedeutung.

Isotopenuntersuchungen des Grundwassers ergaben maximale Verweilzeiten von 20.000 bis

30.000 Jahren. Das Grundwasseralter nimmt in Fließrichtung zu, die höchsten Alter werden an der Küste des Arabischen Golfs und in Bahrain gemessen. Im Ausbissbereich findet sich aber auch Tritium im Grundwasser, was eine rezente Grundwasserneubildung belegt. Untersuchungen stabiler Isotope (Sauerstoff-18 und Deuterium) zeigen, dass das Grundwasser im Wesentlichen zu Zeiten gebildet wurde, als das Klima feuchter und kühler als heute war.

Die Grundwasserqualität entwickelt sich generell von West nach Ost zunächst entsprechend der Chebotarev-Sequenz. Der Lösungsinhalt steigt dabei kontinuierlich von den Gebieten der Grundwasserneubildung (1.000 – 2.000 mg/L) hin zum Abstrom in den Arabischen Golf und das Euphrat-Tigris Becken (5.000 – 10.000 mg/L). Schon im Ausbissbereich ist das Grundwasser meist karbonatgesättigt. Entlang des Fließweges wird die Evaporitlösung immer wichtiger, mit steigendem Lösungsinhalt werden Calcium und Sulfat die häufigsten Ionen. Ionenaustausch führt auch nach Erreichen der Gipssättigung weiter zum Anstieg der Salinität, das Grundwasser entwickelt sich im Osten der Arabischen Plattform zu einem Natrium-Chlorid-Wasser.

In den letzten Jahrzehnten hat der Mensch massiv in den Wasserhaushalt des Oberen Mega-Aquifer-Systems eingegriffen. Vor allem Grundwasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung haben einen großen Einfluss auf die Wasserbilanz. Heute werden dem Aquifer System etwa 100 m³/s entnommen 70 % davon zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Grosse Grundwasserabsenkungen (>150 m), Versiegen der natürlichen Quellen und eine Verschlechterung der Wasserqualität sind die Folge. Ein modernes Integriertes Grundwasser Management des Aquifer-Systems ist dringend notwendig. Die dargestellte qualitative und halbquantitative Beschreibung der Hydrogeologie und des Wasserhaushalts ist Grundlage dafür.

P 10.10

Zur Hydrogeologie des Minjur-Aquifers in Saudi Arabien

RANDOLF RAUSCH¹, SASCHA FRANK², CHRISTOPH BUERMANN², HEIKO DIRKS², TILMAN MIESELER²

¹ Water Resources Studies, GIZ International Services

² Dornier Consulting

Kontakt: randolf.rausch@gizdco.com

Der Minjur-Aquifer ist Teil des Unteren-Mega-Aquifer-Systems der Arabischen Halbinsel. Er besteht aus Sandsteinen in die konglomeratische Linsen und Tonsteine eingeschaltet sind. Er kann als geklüfteter Festgesteinsaquifer und bereichsweise als Porengrundwasserleiter charakterisiert werden. Unter dem Minjur, (obere Trias) liegt der Jilh-Aquifer, der der mittleren Trias zugeordnet wird. Überlagert wird der Minjur-Aquifer im Norden durch den Marrat-Aquitard (Unterer Jura). Im Süden fehlt dieser, und der Minjur verbindet sich mit dem hier überlagernden Dhurma (Unterer Jura) zu einem zusammenhängenden Aquifer. Der Ausstrich der Minjur-Formation befindet sich im Westen von Riad und verläuft, der Streichrichtung folgend, von nord-nordwest nach süd-südost. Das Schichtenfallen beträgt ca. 1°. Die Einfallrichtung der Formation und die Grundwasserfließrichtung ist Ost-Nordost gerichtet. Der Minjur-Aquifer ist ein gespannter Grundwasserleiter, der nach Osten hin zunehmend artesisch gespannt ist. Aufgrund der guten Wasserqualität und der hohen Ergiebigkeit wird das Grundwasservorkommen intensiv genutzt, was zum Aufbrauch der Grundwasserressourcen führt. Zur Trinkwasserversorgung der Bevölkerung in der Hauptstadt Riad werden große Mengen Grundwassers aus dem Minjur gefördert. 600 km südlich von Riad wird das Grundwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung

genutzt. Hierdurch ergeben sich zwei große Absenkungstrichter mit einem Durchmesser von ca. 150 km. Durch die Grundwasserabsenkung im Minjur fällt die Druckhöhe unter die des darunterliegenden liegenden Jilh-Aquifers. Dies führt zum Aufstieg von höher salinem Grundwasser aus dem Jilh-Aquifer. Laut Isotopenuntersuchungen hat das geförderte Grundwasser des Minjur eine Verweildauer von bis zu mehr als 30 000 Jahren. Die Salinität des genutzten Grundwassers liegt im Mittel zwischen 1 200 mg/L und 1 800 mg/L und nimmt generell nach Osten hin deutlich zu. Transmissivität, hydraulische Durchlässigkeit, Speicherkoeffizient und nutzbarer Hohlraum des Aquifers wurden mittels hydraulischer Feldtests ermittelt. Die Mittelwerte wurden auf $T = 3,65 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, $K = 3,73 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ und $S = 5,56 \cdot 10^{-4}$ bestimmt. Der entwässerbare Hohlraum liegt bei $S_y = 7\%$. Aufgrund der geringen Grundwasserneubildung und den im Gegensatz dazu stehenden hohen Entnahmen wird das System in absehbarer Zeit erschöpft sein. Ein modernes Wassermanagement kann zur besseren Nutzung und einem geringeren Wasserverbrauch führen. Insbesondere die Landwirtschaft bietet ein großes Potential die Ressource Wasser schonender einzusetzen.

P 10.11

3D Groundwater Modeling of the Upper Mega Aquifer System (Arabian Peninsula) using OpenGeoSys

STEPHAN SCHULZ¹, RANDOLF RAUSCH², OLAF KOLDITZ¹, CHRISTIAN SIEBERT¹, RALF MERZ¹, NILS MICHELSEN³, MOHAMMED AL-SAUD⁴, CHRISTOPH SCHÜTH³

¹ Helmholtz–Centre for Environmental Research UFZ

² GIZ International Services and TU Darmstadt, Institute of Applied Geosciences

³ TU Darmstadt, Institute of Applied Geosciences

⁴ Ministry of Water & Electricity of the Kingdom of Saudi Arabia

Kontakt: stephan.schulz@ufz.de

A 3D groundwater flow model merges all relevant hydrogeological information. Thus, it became a powerful management tool, which serves the purpose of understanding a system and calculating scenarios. Especially for the countries on the Arabian Peninsula, which heavily rely on groundwater resources, those models became important in order to achieve a better water management. During this study a transient (10,000 years BP to present) groundwater flow model of the Upper Mega Aquifer (UMA) system using the open source model OpenGeoSys is setup.

The lateral extent of the UMA system corresponds almost to the extent of the Arabian Shelf. It comprises a sedimentary succession from the Early Cretaceous to the present. As a computer model is an approximation of the reality, several geological formations are merged to single hydrogeological units. Ten units plus the sealing Hith aquiclude, which represent the boundary at the bottom of UMA, resulted. All these units consist of clastic or chemical sediments and dip slightly eastwards.

Due to (i) the basin structure and related conditions of sedimentary deposition, (ii) tectonic processes and (iii) different expositions over longer time periods, the hydraulic properties vary within each hydrogeological unit. In order to take this into consideration these units are separated into hydrofacies zones. These hydrofacies zones are projected on each hydrogeological unit in the geometric model by means of specially designed Matlab-Routines. Relevant aquifer properties

(hydraulic conductivity, specific yield and specific storage coefficient) for these hydrofacies zones are from 223 pumping tests. Additionally, laboratory analyses of drilling cores are integrated in order to make these values (especially anisotropy of hydraulic conductivity) more certain.

The water fluxes of a groundwater flow model are driven by sink and source terms. Due to a falling water table over the whole modelling period (and especially since the anthropogenic water withdrawal from the aquifer system increased), these terms are not constant over space and time. Relevant sink terms are: (i) Springs, (ii) Paleo rivers, (iii) Agricultural water abstraction, (iv) Domestic and industrial water abstraction, and (v) Discharge into Euphrates and the Arabian Gulf. Major source terms are: (i) Groundwater recharge, and (ii) Wadis as bypass for the leakage from underlying aquifers.

Finally, the model will be calibrated with the classical approach of fitting the modelled hydraulic heads to the observed ones. For the validation a multi response approach will be applied. First method will be the comparison of modelled groundwater ages (backward particle tracking or transport modelling) with ages determined by isotopic investigations (e.g. ^{14}C). The second method will be a comparison of the overall water balance with satellite gravimetry (GRACE).

P 10.12

Räumliche und zeitliche Variabilität von einzelnen Niederschlagsereignissen in Saudi-Arabien

FLORIAN STEFFINGER¹, RANDOLF RAUSCH², BERNHARD KEIM¹

¹ **Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH**

² **GIZ International Services / Dornier Consulting**

Kontakt: steffinger@kobus-partner.com

Für Niederschlags-Abfluss-Modellierungen oder Grundwasser-Neubildungsberechnungen ist die räumliche und zeitliche Verteilung der selten auftretenden Niederschlagsereignisse von großer Bedeutung. Während Messnetze, die diese Variabilitäten aufnehmen können, nur unter großem Aufwand umgesetzt werden können, weisen satellitengestützte Auswertungen oftmals eine eher zweifelhafte Datengüte auf. Eine weitere Möglichkeit stellt die Auswertung von Niederschlagsradar-daten dar: Entsprechende Radaranlagen sind meist bereits im Bestand vorhanden und registrieren Niederschlagsfelder in hoher zeitlicher wie auch räumlicher Auflösung. Im Rahmen einer Studie wurden mehrere Niederschlagsereignisse in den Radar-datensätzen mit Ergebnissen aus analogen Untersuchungen an Messdaten verglichen.

Räumliche Variabilität von einzelnen Niederschlagsereignissen:

Zur Auswertung der räumlichen Variabilität wurden die Niederschlagsradar-daten zunächst zu Tagesniederschlagsrastern akkumuliert. Die räumliche Auflösung der Ausgangsdaten beträgt etwa 400 m/Pixel. Anschließend wurde die Entwicklung des Gebietsniederschlags in Abhängigkeit eines Untersuchungsradiuses um ein örtliches Niederschlagsmaximum dokumentiert. Die Auswertung hat ergeben, dass im Mittel der Gebietsniederschlag für einen Radius von 15 km nur noch etwa 10 bis 28 % des lokalen Niederschlagsmaximums eines Ereignisses im Mittelpunkt beträgt. Daraus wird deutlich, dass die an einer Station gemessenen Niederschläge nicht auf größere Fläche übertragbar sind.

Zeitliche Variabilität von einzelnen Niederschlagsereignissen:

Für diese Untersuchung wurde für jeden Pixel eines Radarbilds untersucht, welchen Anteil die Stunde mit der größten Niederschlagsmenge am gesamten Tagesniederschlag besitzt. Im Mittel beträgt hier der Anteil am Tagesniederschlag des größten stündlichen Niederschlags etwa 86 %. Das belegt, dass Niederschläge auch zeitlich äußerst konzentriert auftreten.

Fazit und Anmerkungen:

Die Auswertungen zeigen, dass sich durch Niederschlagsradar Daten wichtige Erkenntnisse im Bereich räumlicher und zeitlicher Variabilität von einzelnen Niederschlagsereignissen gewinnen lassen. Aufgrund fehlender belastbarer Daten zur Kalibrierung des Radars wurde darauf verzichtet, statistische Auswertungen von Niederschlagsvolumina durchzuführen. Diesbezüglich sollte weiterhin auf Niederschlagsschreiber zurückgegriffen werden.

P 10.13

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios as a tracer for spring water origin in the arid sub catchment of Ein Feshkha, NW Dead Sea

CORNELIA WILSKE¹, CHRISTIAN SIEBERT¹, TINO RÖDIGER¹, BRODER MERKEL²

¹ Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ), Department Catchment Hydrology, Halle, GERMANY

² Technical University Bergakademie Freiberg, Institute for Geology, Freiberg, GERMANY

Kontakt: cornelia.wilske@ufz.de

Strontium isotope ratios are used to investigate the Mountain Aquifer and its outlet along the NW Dead Sea. The aim of the study is to significantly strengthen the knowledge about (i) the multi-aquifer system, (ii) the influence of tectonic framework and (iii) the Graben filling of the Dead Sea Rift and their interaction concerning flow paths evaluation and the origin of discharging groundwater in Ein Feshkha. The Ein Feshkha spring area is the main fresh groundwater outlet along the western Dead Sea coast and is on one hand an ecologically important resort and strategically a reservoir of high importance for the water management. It contains numerous spring outlets and its spring water varies in discharge and particularly in the water chemistry. It is proposed, that the area is connected to both Upper Cretaceous Judean aquifers, the water bearing sediments of the Pleistocene and via faults to the Lower Cretaceous (Kurnub) aquifer. In that context, additionally to major- and minor chemical patterns, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios are used as natural tracer of aquifer signatures. In spring waters, Strontium isotope ratios results between the ratios of the Lower and Upper Judea aquifer, indicating a potential groundwater mixing. Additionally the specific rock signature of Strontium isotope ratios is considered to trace the spring water, which corresponds to the aquifer source rock.

11 Subsurface storage of heat, energy and carbon

Oral Presentations

O 11.1: H18, NW II, 29.05.2014, 14:00-14:20

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

FRANK DETHLEFSEN¹, CHRISTOF BEYER¹, SEBASTIAN BAUER¹, PETER DIETRICH², RAINER DUTTMANN³, MARKUS EBERT¹, VOLKER FEESER¹, UWE GÖRKE², RALF KÖBER¹, OLAF KOLDITZ², WOLFGANG RABEL¹, TOM SCHANZ⁴, DIRK SCHÄFER¹, HILKE WÜRDEMANN⁵, ANDREAS DAHMKE¹

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 Speicherungen zu überführen. Dafür werden die induzierten Prozesse und Auswirkungen anhand synthetischer, jedoch möglichst realistischer, Szenariensimulationen der einzelnen Speicheroptionen nachgebildet. Dazu wird zum einen durch Literaturdaten oder durch eigene Messungen die Parametrisierung der entsprechenden geologischen Formationen und der ablaufenden Prozesse entwickelt und bereitgestellt. Zum anderen werden numerische Simulationswerkzeuge entwickelt, die die gekoppelten thermischen, hydraulischen, mechanischen und geochemischen Prozesse 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.

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.

Large-scale, long-term Storage of Energy transformed into Hydrogen – what will happen in the geological Underground?

DIETER PUDLO¹, STEVEN HENKEL¹, REINHARD GAUPP¹

¹ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Faculty of Chemistry and Earth Sciences

Kontakt: henkel.steven@uni-jena.de

The transformation of electrical energy by electrolysis of water into hydrogen and oxygen is a well known technical process. The knowledge led to the establishment of worldwide only a few pilot projects, in which the underground storage of hydrogen in salt caverns is tested (e.g. Brockmann et al., 2010). These geological structures were chosen because of their assumed tightness to prevent unwanted hydrogen release and their non-reactive chemical/mineralogical behavior with hydrogen. Besides salt caverns, depleted gas reservoirs are most favorable for hydrogen underground storage (Kruck et al., 2013). Due to the limited storage volume and the restricted number of salt cavern sites the H2STORE-project was initiated to investigate the potential of depleted natural gas reservoirs for storing hydrogen in large volumes and large time spans (e.g. months).

Foh et al. (1979) in their fundamental work on underground hydrogen storage proposed an almost non-reactive behavior of single mineral components of pore space reservoirs (e.g. sandstone deposits). However, most recently e.g. Truche et al. (2013) and Pichler (2013) stated that hydrogen can initiate some mineral dissolution as well as precipitation at storage conditions. Thus it is anticipated that stored hydrogen will initiate complex mineral - (formation) fluid - gas (hydrogen) - microbiological interactions in sandstones. This system is further complicated by the occurrence of (residual) hydrocarbon species in depleted gas reservoirs. Therefore a highly variable system of five major compounds at distinct P- and T-conditions has to be regarded in evaluating the feasibility of hydrogen storage in pore space reservoirs. These mineralogical – geo-, hydro- and biochemical reactions will also affect the petrophysical behavior of the reservoir and cap rocks.

The scope of the H2STORE-project is to evaluate such complex reactions and their effects on reservoir quality and storage volumes by performing intensive analytical, experimental, and modeling work. This is performed in six subprojects, each of them treating specific topics. An extension of research by including isotopic investigations (C-, H-system) is planned. It is assumed that the complex approach of H2STORE will contribute important information for a change in electrical supply from nuclear and fossil sources to regenerative, sustainable energy production by solar, wind, and biomass as demanded by the German government.

A detailed description of the H2STORE-project and its subprojects is given by e.g. Pudlo et al. (2013).

References:

Brockmann, B., Donadei, S., Crotagino, F. (2010): Energy storage in salt caverns – Renewable energies in the spotlight. In: Hou, M.Z., Xie, H., Yoon, J.S. (eds.): *Underground Storage of CO₂ and Energy*, p. 271–277. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton-London-New York-Leiden

Foh, S., Novil, M., Rockar, E., Randolph, P. (1979): *Underground hydrogen storage*. Final report, Brookhaven National Laboratory, Upton-New York. p. 145

Kruck, O., Crotagino, F., Prelicz, R., Rudolph, T. (2013): *Assessment of the potential, the actors and relevant*

business cases for large scale and seasonal storage of renewable electricity by hydrogen underground storage in Europe “HyUnder” – Deliv.No.3.1: Overview on all Known Underground Storage Technologies for Hydrogen. Report, 14.08.2013. p. 93

Pichler, M. (2013): Assesment of hydrogen – rock interactions during geological storage of CH₄-H₂ mixtures. Master thesis, Univ. Leoben, p. 97

Pudlo, D., Ganzer, L., Henkel, S., Kühn, M., Liebscher, A., De Lucia, M., Panfilov, M., Pilz, P., Reitenbach, V., Albrecht, D., Würdemann, H., Gaupp, R. (2013): The H2STORE Project: Hydrogen Underground Storage – A Feasible Way in Storing Electrical Power in Geological Media ?. In: Hou, M.Z., Xie, H., Were, P. (eds.): Clean Energy Systems in the Subsurface: Production, Storage and Conversion. Springer Series in Geomechanics & Geoengineering, p. 395-412.

Truche, L., Jodin-Caumon, M.-C., Lerouge, C., Berger, G., Mosser-Ruck, R., Giffaut, E., Michau, N. (2013): Sulphide mineral reactions in clay-rich rock induced by high hydrogen pressure. Application to disturbed or natural settings up to 250°C and 30 bar. Chem. Geol., 351, p. 217-228

O 11.3: H18, NW II, 29.05.2014, 14:40-15:00

Geothermal heat production and synergetic carbon storage supported by salinisation early warning - the results of the brine project

THOMAS KEMPKA¹, RAINER HERD², ERNST HUENGES¹, CHRISTOPH JAHNKE², SILVIO JANETZ², EGBERT JOLIE¹, MICHAEL KÜHN¹, FABIEN MAGRI¹, MARKUS MÖLLER¹, GERARD MUNOZ¹, OLIVER RITTER¹, WLADISLAW SCHAFRIK², CORNELIA SCHMIDT-HATTENBERGER¹, ELENA TILLNER¹, HANS-JÜRGEN VOIGT², GÜNTER ZIMMERMANN¹

¹ **GFZ German Research Centre for Geosciences**

² **Brandenburg University of Technology**

Kontakt: michael.kuehn@gfz-potsdam.de

World-wide research projects addressing geological CO₂ storage and geothermal heat provision highlighted two questions of uttermost importance for the feasibility of CO₂ storage in saline aquifers which were not addressed by scientific research so far:

1. Endangerment of freshwater reservoirs by upward migration of brine from saline aquifers as a result of the pressure increase subsequent to a CO₂ injection into a target storage formation.
2. Synergetic utilization of geothermal heat production and CO₂ storage by implementation of pressure discharge wells.

Within the scope of the brine joint-project both questions were addressed in two main research topics. The first one comprised a feasibility study considering the detection of potential upward brine migration. Thereto, an integrated early warning system was developed involving a network of electrical resistivity tomography (ERT) as well as magnetotelluric (MT) and electromagnetic (EM) monitoring techniques. The objective was to detect upward brine migration as early as possible to employ appropriate. Different scenarios of brine migration effected by CO₂ injection were simulated using coupled numerical models, whereas brine migration into freshwater-bearing reservoirs considered for drinking water supply was specifically taken into account. Furthermore, coupled hydro-geomechanical simulations allowed us to determine the role of existing faults by means of

representing potential leakage pathways (Magri et al., 2013; Röhmann et al., 2013; Tillner et al., 2013a).

For validation of the integrated early warning concept, spatial and time-dependent distributions of the displaced brine determined during the computation of different migration scenarios were transformed into raw data and integrated into our ERT, MT and EM monitoring network model. These data were then applied for identification of network geometries required for successful monitoring of brine migration.

The second question was addressed by a theoretical study within the scope of the brine project taking into account if brine from pressure discharge wells, which are implemented to increase the overall CO₂ storage capacity of the target formation, can be used in geothermal heat provision. Here, an enhanced management of the storage reservoir was investigated considering re-injection of the thermal water into deeper saline aquifers (Tillner et al., 2013b).

Our results demonstrate that a synergetic application of CO₂ storage and geothermal heat production is generally feasible. Furthermore, a conceptual early warning system for detection of freshwater salinisation was developed, calibrated by laboratory and field tests (e.g. Wagner et al., 2013), and validated by numerical modelling studies.

MAGRI, F.; TILLNER, E.; WANG, W.; WATANABE, N.; ZIMMERMANN, G.; KEMPKA, T. (2013): 3D Hydro-mechanical Scenario Analysis to Evaluate Changes of the Recent Stress Field as a Result of Geological CO₂ Storage. *Energy Procedia*, 40, 375-383.

RÖHMANN, L.; TILLNER, E.; MAGRI, F.; KÜHN, M.; KEMPKA, T. (2013): Fault Reactivation and Ground Surface Uplift Assessment at a Prospective German CO₂ Storage Site. *Energy Procedia*, 40, 437-446.

TILLNER, E.; KEMPKA, T.; NAKATEN, B.; KÜHN, M. (2013a, online first): Brine migration through fault zones: 3D numerical simulations for a prospective CO₂ storage site in Northeast Germany. *International Journal of Greenhouse Gas Control*.

TILLNER, E.; KEMPKA, T.; NAKATEN, B.; KÜHN, M. (2013b): Geological CO₂ Storage Supports Geothermal Energy Exploitation: 3D Numerical Models Emphasize Feasibility of Synergetic Use. *Energy Procedia*, 37, 6604-6616.

WAGNER, F.; MÖLLER, M.; SCHMIDT-HATTENBERGER, C.; KEMPKA, T.; MAURER, H. (2013): Monitoring freshwater salinization in analog transport models by time-lapse electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 89, 84-95.

Well-based stable carbon isotope leakage monitoring of the first aquifer overlying the CO₂ storage reservoir at the Ketzin pilot site, Germany

MARTIN NOWAK¹, ANSSI MYRTTINEN¹, MARTIN ZIMMER², ROBERT V. GELDERN¹, JOHANNES AC BARTH¹

¹ GeoZentrum Nordbayern Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg, Schlossgarten 5, 91054 Erlangen, Germany

² GFZ German Research Centre for Geosciences, Helmholtz Centre, Telegrafenberg, 14471 Potsdam, Germany

Kontakt: mnowak@bgc-jena.mpg.de

Geo-engineering might be an unavoidable tool to mitigate greenhouse gas emissions and reduce global warming. Carbon Capture and Storage (CCS) is a feasible bridge technology, as it promises storage of large amounts of CO₂ in the subsurface instead of emitting it to the atmosphere.

However, considering the application of CCS, one has to be conscious about possible risks such as leakage from abandoned wells (Nowak et al., 2013).

At the pilot site for CO₂ storage in Ketzin, a new well-based leakage-monitoring concept was established, comprising geochemical and hydraulic observations of the aquifer directly above the CO₂ reservoir (Wiese et al., 2013). This shall allow early detection of un-trapped CO₂. Within this study concept, we established a stable carbon isotope monitoring of dissolved inorganic carbon (DIC). If baseline isotope values of aquifer DIC ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) and reservoir CO₂ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$) are known and distinct from each other, the $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ has the potential to be an early indicator for an impact of leaked CO₂ on the aquifer brine.

Data acquisition for this study was conducted between January 2012 and November 2012. The observation well of the overlying aquifer was equipped with a U-tube sampling system that allowed frequent sampling of unaltered brine. Our results show, that in the early stage, the high alkaline drilling mud that was used during well drilling masked $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values, which ranged around -27 ‰. However, subsequent monitoring allowed observing on-going re-equilibration of the brine, indicated by changing $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and other geochemical values, until values ranging at -23 ‰ were reached, which appears to be close to baseline values.

Baseline $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ values were used to derive a geochemical and isotope model that predicts evolution of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, if CO₂ from the reservoir would leak into the aquifer under equilibrium conditions. The model shows that isotope fractionation has to be considered if CO₂ dissolves in the brine.

Further, the model suggests that stable carbon isotope monitoring is a suitable tool to assess the impact of injected CO₂ in overlying groundwater aquifers. However, more data are needed about fractionation behaviour within the CO_{2(g)} - DIC system under elevated pressure and temperatures.

Nowak, M., Myrntinen, A., Zimmer, M., Wiese, B., van Geldern, R., Barth, J.A.C., 2013. Well-based, Geochemical Leakage Monitoring of an Aquifer Immediately Above a CO₂ Storage Reservoir by Stable Carbon Isotopes at the Ketzin Pilot Site, Germany. Energy Procedia 40, 346-354.

Geophysical monitoring of leakages in shallow groundwater from deep compressed air energy storage

SAID ATTIA AL HAGREY¹, DANIEL KÖHN¹, CARLA E. WIEGERS¹, DIRK SCHÄFER¹, WOLFGANG RABEL¹

¹ Institut für Geowissenschaften, Universität Kiel

Kontakt: sattia@geophysik.uni-kiel.de

Renewable energy resources are intermittent and need a buffer storage to bridge the time-gap between production and demand peaks. North German Basin has favorable conditions and a very large capacity for compressed air energy storage (CAES) in porous saltwater reservoirs and salt cavities. However, the injected CAES and even saltwater can seep along weak zones and fractures upwards and migrate into shallow groundwater aquifers. These gas and fluid phase leakages cause changes in the electrical resistivity, density and elastic moduli of these aquifers, and justify applications of geophysical techniques. Our current interdisciplinary project ANGUS+ deals with impacts of using geologic subsurface as a thermal, electric or material storage in context with alternative energy resources. Our main task is to develop a geophysical monitoring strategy using integrative geophysical techniques on almost realistic scenarios in the North German Basin.

Using numerical simulations we study here the feasibility of techniques of elastic full wave inversion FWI, electric resistivity tomography ERT, electromagnetic induction EMI and gravity in detecting these groundwater leakages in the underground of Northern Germany.

A real geological formation in Northern Germany was chosen as a typical scenario. No CAES is planned at this site, but the geological structure and parameters of shallow potable aquifers are well known. With help of the user interface PetraSim the geological data were imported into the simulation program TOUGH 2-MP (EOS3). A leakage rate of 1 kg/s compressed air was assumed for 10 years and the potential three dimensional spreading of gas in the formation was simulated. Analogously a leakage of saltwater from deeper formations into the shallow aquifers was simulated for another geological structure.

These hydrogeological leakage models are transferred in geophysical models using realistic parameterization prevailing in the North Germany Basin and adequate petrophysical laws. These models are used to generate synthetic datasets which in turn are reconstructed to reproduce the underground models.

Results reflect the capability of geophysical techniques to detect and monitor these leakages. CAES leakages can be characterized by their resistivity highs and mass deficit, and saltwater intrusions by their resistivity lows and mass excess. The lower boundary value of detectability can be determined. Full wave inversion FWI technique can map the CAES plume better than the saltwater plume due to their different impedance contrast. Applied integrative techniques complement each other. Gravity and FWI methods are more sensitive to CAES plumes yielding stronger density contrast than saltwater intrusions, whereas ERT and EMI are more sensitive to the conductive saltwater than the resistive CAES.

Acknowledgements

This study has been carried out within the framework of ANGUS+ research project funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF).

O 11.6: H18, NW II, 29.05.2014, 15:40-16:00

Optimierung eines mitteltiefen Erdwärmesondenspeichers

WOLFRAM RÜHAAK¹, DANIEL SCHULTE¹, BASTIAN WELSCH¹, SWARUP CHAUHAN¹, KRISTIAN BÄR¹, SEBASTIAN HOMUTH¹, INGO SASS¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Fachgebiet Angewandte Geothermie, Technische Universität Darmstadt

Kontakt: ruehaak@geo.tu-darmstadt.de

Eine der größten Stärken der Geothermie ist die Beheizung von Gebäuden. Aufgrund des jahreszeitlichen Temperaturwechsels bietet sich eine Kombination mit Solarthermie an. Wärme wird im Sommer im Untergrund gespeichert um im Winter wieder entzogen zu werden. Für eine derartige Konfiguration sind eine Reihe von Randbedingungen zu erfüllen: die eingespeicherte Wärme sollte möglichst am Ort verbleiben und die erzielten Temperaturen müssen dem Einsatzzweck entsprechend ausreichend hoch sein. Das vorgestellte Forschungsprojekt befasst sich mit der Beheizung eines Universitätsgebäudes. Für den Speicher ist eine Tiefe zwischen 500 m bis 1000 m vorgesehen. In dieser Tiefe herrschen aufgrund des geothermischen Gradienten bereits erhöhte Temperaturen. Die Einspeicherung erfolgt mit ca. 90 °C. Zusätzlich zu Solarthermie soll Hochtemperaturabwärme von anderen Gebäuden (Blockheizkraftwerk, Hochleistungsrechner, etc.) eingespeist werden. Ein wesentlicher Aspekt des Projekts ist es eine optimale Kombination aus Anzahl und Tiefe von Erdwärmesonden zu ermitteln, die eine ausreichende Rücklauftemperatur und Entzugsleistung bereitstellen und dabei die Investitionskosten zu minimieren. Darüber hinaus werden eine Reihe weiterer technischer Parameter variiert. Dieses Optimierungsproblem wird mittels einer neuentwickelten MATLAB Toolbox gelöst, in der sowohl konduktiver Wärmetransport mittels eines FEM Verfahrens (Alberty et al., 1999) als auch der Wärmeaustausch innerhalb der Erdwärmesonden (Eskilson & Claesson, 1988) dynamisch berechnet werden. Eine einfache Lösungsvariante stellt der Einsatz von Monte-Carlo Verfahren dar (Sabelfeld, 1991). Daneben werden jedoch auch komplexere Optimierungsalgorithmen auf ihre Anwendbarkeit hin geprüft.

Alberty, J., Carstensen, C. & Funken, S.A. (1999): Remarks around 50 lines of Matlab: short finite element implementation. - Numerical Algorithms, 20(2-3): 117-137, doi:10.1023/A:1019155918070

Eskilson, P. & Claesson, J. (1988): Simulation model for thermally interacting heat extraction boreholes. - Numerical Heat Transfer, 13: 149–165.

Sabelfeld, K.K (1991): Monte Carlo Methods in Boundary Value Problems, 281 Seiten, Springer: Berlin Heidelberg.

Einfluss zyklischer Wärmespeicherung auf Transport- und Reaktionsprozesse im oberflächennahen Untergrund

STEFFI POPP¹, CHRISTOF BEYER, SEBASTIAN BAUER

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

Kontakt: steffi.popp@gpi.uni-kiel.de

Im Zuge der Energiewende in Deutschland wird eine deutliche Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Gesamtendenergieverbrauch erwartet. Aus diesem Grund ist die Entwicklung von Energiespeichertechnologien erforderlich, um eine bedarfsgemäße und sichere Versorgung trotz zeitlich stark schwankender Energieproduktion aus erneuerbaren Energiequellen wie Windkraft und Solarenergie sicherzustellen. In urbanen Räumen wird hierbei vor allem die zyklische Wärme- bzw. Kältespeicherung im oberflächennahen Untergrund, z.B. zur Klimatisierung von Gebäuden, an Bedeutung gewinnen. Neben dem Einfluss der Temperatur auf die lokale und großräumige Grundwasserströmung, die Grundwasserchemie und mikrobielle Aktivität ist insbesondere in urbanen Räumen mit einer Beeinflussung der zahlreichen im Untergrund vorhandenen Kontaminationen zu rechnen. Derzeit stellt das Vorkommen von Schadstoffen im Untergrund jedoch noch ein Ausschlusskriterium beim Bau von unterirdischen Wärmespeichern dar.

Diese Arbeit untersucht die Auswirkungen von zyklischer Wärmespeicherung auf den Transport und die Reaktionsprozesse organischer Schadstoffe in oberflächennahen Aquiferen anhand numerischer Szenariensimulationen mit dem THMC-Simulator OpenGeoSys (OGS). In einem synthetischen, aber für Norddeutschland typischen, Aquifer wird die temporäre Speicherung von Wärme über Erdwärmesonden simuliert. Die sich dabei entwickelnden Wärmefahnen im Grundwasser beeinflussen die Emissionen einer im Aquifer befindlichen Trichlorethenquelle sowie den mikrobiellen Schadstoffabbau. Die numerischen Simulationen zeigen, dass es bei höheren Temperaturen im Grundwasser zu einer stärkeren Lösung des Schadstoffes aus der NAPL-Phase kommt, was in erster Linie auf eine Fokussierung der Grundwasserströmung in den Bereichen erhöhter Temperatur und nur nachrangig auf eine Erhöhung der Schadstofflöslichkeit zurückzuführen ist. Darüber hinaus zeigt sich, dass es in den Bereichen mit erhöhter Temperatur lokal zu einer Stimulation des mikrobiellen Wachstums und somit zu einem verstärkten Abbau des Schadstoffes kommt. Eine Abkühlung des Grundwassers in Phasen der Wärmeentnahme führt hingegen zu einer geringen Abnahme des mikrobiellen Wachstums und somit zu lokalen Verringerungen des Schadstoffabbaus. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen einer Risikoabschätzung der Interaktionen zwischen Wärmespeichermaßnahmen und kontaminierten Bereichen dienen und sowohl Potentiale als auch mögliche Konflikte aufzeigen.

Einfluss mikrobieller Stoffwechselprozesse auf den Betrieb saisonaler Speicher und deren Bedeutung für die Umwelt

*HILKE WÜRDEMANN*¹, ANKE WESTPHAL¹, STEPHANIE LERM¹, ANDREA SEIBT², WOLFGRAMM MARKUS³, EICHINGER FLORIAN⁴, GEHRKE TILMANN⁵, SAND WOLFGANG⁶

¹ **Geomikrobiologie, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ**

² **BWG Neubrandenburg**

³ **GTN Neubrandenburg**

⁴ **Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen**

⁵ **Biofilm Center, Universität Duisburg-Essen**

⁶ **Biofilm Center, 5Universität Duisburg-Essen**

Kontakt: Wuerdemann@gfz-potsdam.de

Mikrobielle Stoffwechselprozesse können dazu beitragen, dass Metalle infolge einer geothermischen Nutzung mobilisiert werden. Gleichzeitig kann auch die Bildung von Ausfällungen beschleunigt und Korrosionsprozesse induziert werden. Bei günstigeren Wachstumsbedingungen, z.B. infolge einer Temperaturänderung, kann es zu einer Verringerung von Rohrleitungsquerschnitten, Belägen auf den Wärmetauscherplatten, Korrosion von Pumpen, zugesetzten Filtern und Ausfällungen im Reservoir kommen. Verschiedene Studien zeigten, dass Mikroorganismen sowohl die Injektivität im bohrlochnahen Bereich, die Mineralbildung im Reservoir als auch die Beständigkeit der verwendeten Materialien erheblich beeinflussen können. Aufgrund extremer Bedingungen im Habitat, wie geringer Nährstoffverfügbarkeit oder hoher Temperatur, waren die Stoffumsatzraten vielfach niedrig, so dass ein Nachweis mikrobieller Stoffwechselaktivität über Veränderungen in der Fluidchemie allein nicht hinreichend genau war. Jedoch konnten molekularbiologische Verfahren aufgrund ihrer hohen Sensitivität in Verbindung mit dem Nachweis von Stoffwechselprodukten, wie z.B. sulfidischen Ausfällungen, auch bei niedrigen Stoffumsatzraten Hinweise auf die im Untergrund ablaufenden Prozesse liefern. Es wurden verschiedene Indikatororganismen für Prozessstörungen wie Schwefeloxidierer oder Sulfatreduzierer identifiziert, Maßnahmen gegen mikrobiellen Bewuchs und H₂S-Bildung wie die Zugabe von H₂O₂ oder anderen Inhibitoren erprobt und aus mikrobiologischer Sicht bewertet.

Aquiferspeicher – Wo fängt das Grundwasser an und wo hört es auf?

TOBIAS RUDOLPH¹, DIETMAR BARNEWOLD, FRANK HOLSCHUMACHER

¹ E.ON Gas Storage

Kontakt: tobias.rudolph@eon-gas-storage.com

Zur Sicherung der Erdgasversorgung und zum Ausgleich von mittelfristigen Schwankungen im Erdgasverbrauch werden in Deutschland in Unterspeichern im Jahr etwa 20 Milliarden Kubikmeter Erdgas eingelagert (LBEG 2012). Hierbei handelt es sich um Kavernenspeicher in den Salzgesteinen Nord- und Nordwest-Deutschlands sowie um Porenspeicher in Mittel- und Süddeutschland. Die Porenspeicher lassen sich weiter in umgewidmete, ausgeförderte Gas- und Öllagerstätten sowie in Aquiferspeicher unterteilen.

Bei Aquiferspeichern handelt es sich um geologische Fallenstrukturen, in die in der geologischen Geschichte nie Kohlenwasserstoffe migriert sind und daher nur mit Formationswässern gefüllt sind. Während der Nutzung als Gasspeicher wird das Formationswasser durch das Einbringen des Gases verdrängt. Die Menge des maximal einbringbaren Gases wird durch die Größe der Struktur und durch das mögliche Druckspiel definiert. Über den Lauf eines Jahres kann nun das eingespeicherte Gas umgeschlagen werden.

Die bergbaulichen Aktivitäten und die Möglichkeiten der Unterspeicherung in ehemaligen Lagerstätten werden im Bundesberggesetz (BBergG) beschrieben. Hierzu gehören vor allem die Schritte von der Erlaubnis bis zur Bewilligung mit den verschiedenen Betriebsplänen zum Betrieb und Nachsorge eines Standortes (BBergG 1980). Im BBergG sind aber keine Hinweise auf die Nutzung oder Beeinflussung von Wässern, sei es flaches, nutzbares Grundwasser oder tiefes, salinares und somit kaum nutzbares Lagerstätten- oder Formationswasser zu finden.

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) beschreibt im Gegensatz zum BBergG die möglichen Aktivitäten im Bereich des Grundwassers und geht hierbei auf die Schutzwürdigkeit des Grundwassers ein (WHG 2009). Als Grundwasser wird im WHG das Wasser in der Sättigungszone beschrieben. Hierbei wird nicht zwischen oberflächennahen, nutzbaren und tiefen, salinaren Lagerstätten- oder Formationswässern unterschieden. Die Aquiferspeicher benötigen somit eine wasserrechtliche Erlaubnis.

Durch die verschiedenen Zielsetzungen des BBergG und des WHG sowie der immer größerer Beachtung des WHG entwickeln sich somit für den täglichen Betrieb sowie die Nachsorge eines Gasspeichers verschiedene hydrogeologische Fragestellungen und Herausforderungen. Ganz besondere Beachtung gilt hier der Frage der Definition und der Reichweite des Begriffes des Grundwassers. Diese Unschärfe gilt es heutzutage im Betriebsplanverfahren mit den beteiligten Behörden zu adressieren.

LBEG (2012): Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. – Erdöl Erdgas Kohle; (128) 11, S. 412-423, 2 Abb. 7 Tab.

BBergG (1980): Bundesberggesetz vom 13. August 1980 in der letzten Änderung vom 31. Juli 2009.

WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 in der letzten Änderung vom 8. April 2013.

Das Nürnberger Becken – ein Modellgebiet zur flächenhaften geothermischen Nutzung in einer Metropolregion

ALFONS BAIER¹, JOHANNES BARTH¹

¹ GeoZentrum Nordbayern, Lehrstuhl Angewandte Geologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Kontakt: johannes.barth@fau.de

Das rund 187 km² große Stadtgebiet von Nürnberg liegt in einem durch tektonische Ausweitungs Vorgänge entstandenen Einbruchsbecken. Als hydrologische Besonderheit bildeten sich hier während der Glaziale und Interglaziale des Pleistozäns mehrere tief in die anstehenden Keuperschichten eingeschnittene Flusstäler aus. Anhand der Auswertung von 2442 abgeteufte Bohrungen konnte ein detailliertes paläogeographisches Bild der heute vollständig mit Lockersedimenten verfüllten, zur Zeit ihrer Genese meist canyonartig in die Keupergesteine eingetieften Paläotäler erstellt werden. Diese Talsysteme entstanden durch Ausräumungsphasen einer aus E' Richtungen dem „Moenodanuvius“ bzw. später der Ur-Rednitz zuströmenden Ur-Pegnitz, und lassen sich in vier unterschiedlich alte Haupttäler unterteilen, in die jeweils ein System von kleineren Neben- und Seitentälchen einmündet.

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie hat in jüngerer Vergangenheit starken Auftrieb erfahren. Bei fachgerechter Ausführung bietet diese Technologie ein hohes CO₂-Einsparpotential sowie Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen, wobei sie – im Gegensatz zu anderen regenerativen Energien wie Solar- und Windkraft – als grundlastfähig gilt und sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen von Gebäuden anwendbar ist.

Die in den Nürnberger Paläotäler anstehenden Lockersedimente stellen mit k_f -Werten von 10^{-3} m/s bis 10^{-4} m/s „stark durchlässige“ Porengrundwasserleiter dar und bieten mit ihren hohen Wasserwegsamkeiten vorzügliche Bedingungen zur Gewinnung und zur Versickerung von Wässern; somit liegen optimale Voraussetzungen zur Nutzung der Grundwasserkörper für die thermische Versorgung von Gebäuden vor. Als wichtige hydrologische Voraussetzungen gelten geringe Flurabstände, hinreichende Ergiebigkeit des Aquifers (mindestens 1 L/s Grundwasserförderrate pro Kilowatt Energiegewinnung) und geeignete hydrochemische Bedingungen wie niedrige Eisen- und Mangangehalte des Grundwassers.

Unter dem dicht besiedelten Stadtgebiet von Nürnberg sind im Bereich der Paläorinnen überwiegend geringe Grundwasser-Flurabstände bei gleichzeitig hohen Ergiebigkeiten des Aquifers zu beobachten: So konnte beispielsweise im Bereich der Nürnberger Südstadt aufgrund des hier vorherrschenden guten Grundwasserdargebots eine Großanlage zur Gebäudekühlung mit einem Entnahme- und Rückführungs-Kontingent von 600.000 m³ /a genehmigt werden.

Unter dem Aspekt der „Deutschen Energiewende“ kann das Nürnberger Becken mit seinen „Urtälern“ als Modellgebiet für die flächenhafte Nutzung sowohl der Geothermie als auch des Geocooling in einer Metropolregion angesehen werden.

Baier, A. (2007): Von Sandsteinen, Einbruchsbecken und Flussverlagerungen: Die Geologie Nürnbergs. – In: [Baumann, W., Diefenbacher, M., Herbers, H., Krüger, F. & Wiktorin, D.]: Der Nürnberg Atlas. Vielfalt und Wandel der Stadt im Kartenbild: 146-147, 2 Abb., Köln (Emons).

Baier, A. (2011): Nürnberger Flussgeschichte. Eine Rekonstruktion der Quartärbasis und der Paläotäler im

Untergrund von Nürnberg.- Geologische Blätter für NO-Bayern 61, 1-4: 23-56, 8 Abb., Erlangen.

Löhr, G. (2011): Hydrogeologie. – Grundwasserbericht 2011. Daten zur Nürnberger Umwelt: 27-32, 10 Abb., Nürnberg (Umweltamt).

Lüttig, G. W. (1997): Fränkische Flussgeschichten. Mit 2 Abb. und Taf. 13-14.- Geologische Blätter für NO-Bayern 47, 1-4: 151-181, Erlangen.

Schulze, M. & Spörlein, T. (2011): Oberflächennahe Geothermie in Nürnberg. – Grundwasserbericht 2011. Daten zur Nürnberger Umwelt: 20-21, 2 Abb., Nürnberg (Umweltamt).

P 11.3

Combined seismic and geoelectrical monitoring and quantification of CO₂ geostorage

DANIEL KÖHN¹, SAID ATTIA AL HAGREY¹, KATHARINA BENISCH¹, SEBASTIAN BAUER¹, WOLFGANG RABBEL¹

¹ Institut für Geowissenschaften, Universität Kiel

Kontakt: sattia@geophysik.uni-kiel.de

This paper presents the application and verification of a combined geophysical approach for monitoring and quantifying the storage of CO₂ in deep saline formations using numerical simulations. Supercritical CO₂ is injected into a deep thin saline aquifer below a synthetic site of the North German Basin. The displacement of formation brine by CO₂ yields changes in bulk density, elastic moduli and electric resistivity. This justifies the application of the seismic full waveform inversion (FWI) and electric resistivity tomography (ERT) to monitor and quantify the thin, deep gas plume. These goals are real challenges for the applied geophysical monitoring techniques. Phase pressures, densities and saturations are obtained from a numerical simulation of the injection process and are introduced into geophysical forward models which simulate the geophysical data acquisition. These synthetic geophysical data are then inverted and evaluated with respect to changes in CO₂ saturation and are compared to the fully known CO₂ saturation of the numerical process model.

Inversion results show that both seismic FWI as well as ERT techniques are capable to detect and map the thin CO₂ phase body (up to 30 m thick) within the target storage formation (~2.2 km depth) from the beginning of the injection process to the end of the post-injection simulation time. Besides the structural mapping of the plume the FWI also delivers the distribution of elastic material parameters within the underground. The mapping capability of ERT technique is enhanced, i.e. limitations of smearing and artefacts are minimized, by: (1) the a priori use of the seismic results to constraint the inversion and, (2) the application of optimized electrode configurations which maximize the resolution.

Both geophysical techniques recover the anomaly shape and amplitude accurately reflected by uncertainty analyses of the inversion results. Using the estimated density, seismic velocity and resistivity models the CO₂ saturations within the storage formation are deduced via petrophysical models. Resulting gas saturations from both techniques are in good agreement with each other and with their corresponding input (true) values from the numerical flow simulation. However both

methods cannot resolve the CO₂ phase fringe of only a few meters thickness. The error of estimated CO₂ saturation is 10 % for the FWI method and 13 % for the ERT method. The ERT method profits from joint method application by using structural information from the FWI.

Acknowledgements

This study has been carried out within the framework of research projects “CO₂Mopa” and “ANGUS+” funded mainly by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), and partially by EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON Energie AG, E.ON Gas Storage AG, RWE Dea AG, Vattenfall Europe Technology Research GmbH, Wintershall Holding AG and Stadtwerke Kiel.

P 11.4

Heterogenität der Wärmeleitfähigkeit an Sandsteinen bei TCS-Messungen

KATHARINA ALBERT¹, THOMAS RIEGER¹, MARCELLUS SCHULZE², KAI ZOSEDER¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

² Bayerisches Landesamt für Umwelt

Kontakt: k.albert@tum.de

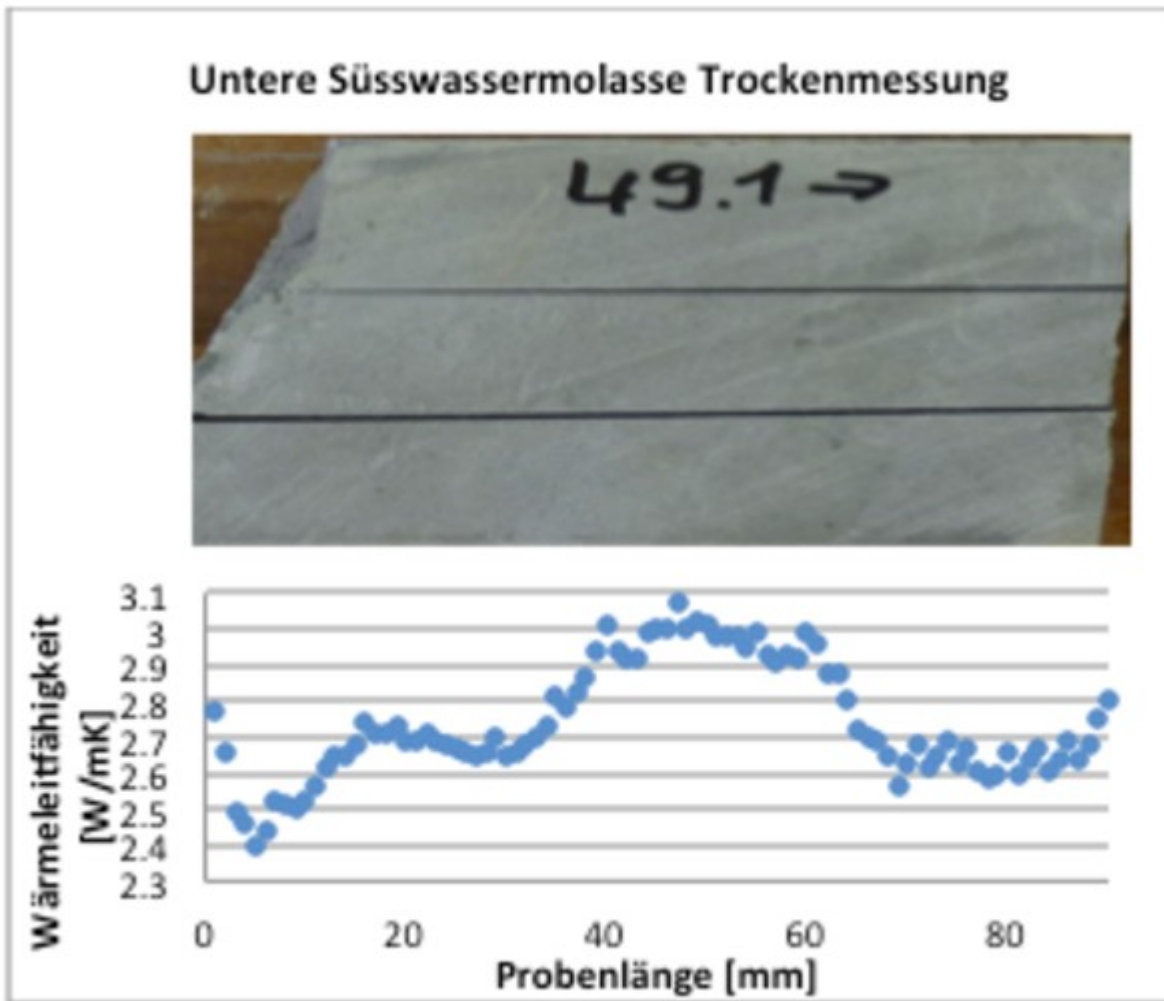
Die Wärmeleitfähigkeit ist einer der grundlegenden Parameter für die Planung oberflächennaher Geothermieanlagen. Die Untersuchung zielt auf die Bestimmung der regional repräsentativen und lithologisch korrelierten Wärmeleitfähigkeit.

Gemessen wurden Sandsteine der Unteren Süßwassermolasse (USM) und des Buntsandsteins (BST) im trocken und im gesättigten Zustand mit einem Thermal Conductivity Scanner (TCS, Popov et al. 2003). Bei genauerer Betrachtung von Einzelmesswerten der TCS-Messung entlang einer Bohrkernprobe sind Variationen aufgrund sichtbarer Anomalien zu erkennen. Dies ist z.B. mit der Änderung der mineralischen Zusammensetzung zu begründen (Clauser und Huenges 1995). Trotzgleicher Lithologie weisen oft optisch homogene Proben auch solche Schwankungen auf (Abb. 1).

Derartige Proben stellen keinen repräsentativen Messwert für die zugehörige Lithologie dar. Außerdem gilt der vom TCS ausgerechnete arithmetische Mittelwert als nicht adäquat.

Um die Heterogenität der Messwerte zu identifizieren, wurden statistische Parameter herangezogen: die Standardabweichung, die mittlere Abweichung vom Median, die mittlere Abweichung vom Modus, die Spannweite und die Kurtosis. Ein hoher Kurtosiswert deutet auf Ausreißer oder auch auf Messfehler hin und dient somit als grober Schätzer für die Heterogenität der Messwerte. Hier wird nun eine Kombination von Parametern ausgearbeitet, die eine Aussage über die Repräsentativität der Probe erlauben.

Zusätzlich wurden die Porosität, die Dichte und die Sättigung von auserwählten Proben bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit bei gesättigter Probe nimmt bei USM-Proben bis zu 87 % und bei BST-Proben bis zu 180 % gegenüber der Trockenmessung zu. Die Schwankungen der Messwerte ist bei gesättigten Proben geringer.



Gemessene Wärmeleitfähigkeit entlang einer optisch homogenen Probe

Popov, Y., Tertychnyi, V., Romushkevich, R., Korobkov, D., Pohl, J. (2003): Interrelation Between Thermal Conductivity and Other Physical Properties of Rocks: Experimental Data. *Pure and Applied Geophysics* 160, 1137-1161

Clauser, C. und Huenges, E. (2010): Thermal Conductivity of Rocks and Minerals. In: T. J. Ahrens (ed.), *Rock Physics and Phase Relations - a Handbook of Physical Constants*, AGU Reference Shelf, Vol. 3, pp. 105-126, American Geophysical Union, Washington

P 11.5

Wasserstoffspeicherung in porösen Medien – Rahmenbedingungen, Parametrisierung und Prozesssimulationen

WOLF TILMANN PFEIFFER¹, SEBASTIAN BAUER¹

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

Kontakt: wtp@gpi.uni-kiel.de

Strom aus Erneuerbaren Energiequellen unterliegt zeitlichen Fluktuationen, so dass Speicher vorgehalten werden müssen, um eine bedarfsgerechte Energieversorgung sicherzustellen. Elektrische Energie kann in potentielle Energie (Pumpspeicherkraftwerke, Compressed Air Energy

Storage), thermische Energie oder in chemische Energie wie synthetisch erzeugtes Methan oder Wasserstoff überführt und in geologischen Formationen gespeichert werden (Power to Gas). Porengasspeicher eignen sich vor allem für die langfristige Speicherung großer Energiemengen, sind jedoch im Bezug auf eine Speicherung von Wasserstoff bisher nur unzureichend untersucht. Zielsetzung dieser Arbeit ist daher die Parametrisierung und Quantifizierung der wirkenden Prozesse bei einer Wasserstoff Speicherung in porösen Formationen. Die Auswirkungen der Speichergeometrie, der hydrogeologischen Parameter wie Porosität, Permeabilität, Kapillardruck-Sättigungs-Beziehungen sowie geochemischen Wechselwirkungen auf die Nutzbarkeit einer porösen Formation zur Speicherung von Wasserstoff werden anhand von synthetischen Szenarienmodellen in Form von Sensitivitätsanalysen untersucht. Die Simulationen werden anhand des gekoppelten Modells OpenGeoSys - Eclipse E300 durchgeführt. In den hier vorgestellten Simulationen wird zunächst der Speicher durch eine Injektion von Stickstoff zur Verdrängung des Formationswassers errichtet. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass eine möglichst kompakte, die Mächtigkeit erfüllende Gasphase nur erreicht werden kann, wenn die Speicherformation eine ausgeprägte Fallenstruktur aufweist. Um Druckvariationen durch die unterschiedlichen Betriebszustände (Injektion/Extraktion) weitestgehend durch die Kompressibilität der Gasphase abzufangen ist ein Kissengasanteil von ca. 70-80 % erforderlich. Dadurch kommt es nach der initialen Befüllung des Speichers zu keiner oder nur geringen Bewegungen der Gasphasenfront. Aufgrund der stark unterschiedlichen Dichten von Wasserstoff und Stickstoff findet eine Stratifizierung in der Gasphase statt, wodurch zeitweise ein Stickstoffanteil von bis zu 30 % im geförderten Wasserstoff erreicht wird. Die maximale Injektions- und Extraktionsrate richtet sich stark nach der Speichergeometrie und den hydrogeologischen Parametern der Formation. Dabei zeigt sich, dass hohe Permeabilitäten zusammen mit steilen Flankengeometrien größere Injektions- und Extraktionsrate bei gleicher Menge an Fremdgasförderung erlauben.

P 11.6

Monitoring of underground CAES sites by geophysical methods

SAID ATTIA AL HAGREY¹, DANIEL KÖHN¹, WOLFGANG RABBEL¹

¹ Institut für Geowissenschaften, Universität Kiel

Kontakt: sattia@geophysik.uni-kiel.de

Mitigation of anthropogenic green house gas GHG, including CO₂ emissions in the atmosphere demand developments of renewable energy resources. However, most renewable energy sources are fluctuating and therefore need energy storage to match power supply and public demand. One possible solution is energy geostorage by injecting pressurized air in sealed underground structures.

The ANGUS+ project is aimed at the development of combined modeling and inversion techniques to monitor the propagation of gas within the storage site and detect possible leakages. The aimed resolution for this monitoring task is challenging. One of our tasks within ANGUS+ deals with the application of a 2D elastic time-lapse seismic full waveform inversion (FWI), combined with electrical and gravimetric methods, to different synthetic modeling scenarios.

The resolution of the geophysical methods is demonstrated by an almost realistic virtual storage site in the North German basin.

The geophysical methods are able to recover the shape of the CAES-plume, as well as changes of

the elastic and electrical parameters inside the plume. The gas saturations can be derived from both resulting seismic and electric models of constrained inversions using adequate petrophysical relationships (e.g. Gassman, Archie).

Acknowledgments:

This study has been carried out within the framework of ANGUS+ research project funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF). We thank project partners for efficient collaborations.

P 11.7

High Temperature Aquifer Storage in the Molasse Basin, Bavaria

MARTINA UECKERT¹, REINHARD NIESSNER¹, THOMAS BAUMANN¹

¹ Institut für Wasserchemie, Technische Universität München

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 is highly variable throughout the year while the demand of electrical energy is rather constant. Unfortunately, at higher ambient temperature the CHP has to be ramped down, since the heat cannot be used.

Within the project "High temperature aquifer storage" scientists from mechanical and electrical engineering, geology, hydrogeology, and mathematics investigate storage and recuperation of excess heat energy into the Malm aquifer in Bavaria. Pilot studies indicate that high temperature energy storage is beneficial because of an increase of the total working hours of the CHP and a significant reduction of the CO₂ footprint.

Heat storage in a calcareous aquifer at injection temperatures above 100 °C is a challenge, not only because of the changes of the carbonate equilibrium at all levels of the facility. Therefore, a pilot scale heat storage test will be performed at an industrial site. This test includes a push-pull tracer test with conservative and reactive tracers and will later be expanded to a full scale demonstration project.

Laboratory experiments in an autoclave and hydrogeochemical modelling will provide the background for the pilot scale tests, especially with regard to the handling of the waters at ground level and the behaviour of the reservoir. Besides findings about transport and heating behaviour in the core samples, the interaction of the injected tracers with the matrix under reservoir conditions will be quantified. An integrated camera system deliver information about precipitation processes.

Hochaufgelöste numerische Szenariensimulation zur Untersuchung von Wärmespeicherprozessen im Nahfeld einer Erdwärmesonde

ANKE BOOCKMEYER¹, SEBASTIAN BAUER¹

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

Kontakt: ankeb@gpi.uni-kiel.de

Der im Rahmen der Energiewende verstärkte Ausbau der Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien erfordert die Entwicklung von neuen und Verbesserung bereits bestehender Energiespeicher. Eine potenzielle Speicheroption ist die Speicherung großer Wärmemengen bei hohen Temperaturen ($> 90\text{ °C}$) aus Windkraft- oder Solaranlagen sowie Abwärme aus industriell oder gewerblich genutzten Gebäuden im geologischen Untergrund mithilfe von Erdwärmesonden. Mögliche Speicherformationen für solche Hochtemperatur-Wärmespeicher liegen dabei vornehmlich unterhalb von zur Trinkwasserversorgung genutzten Frischwasser-Aquiferen. Um die Umsetzbarkeit solch mitteltiefer Speicherszenarien sowie die Auswirkungen eines Erdwärmesondenspeichers auf Grundwasserströmung und Transportregime zu untersuchen, werden numerische Szenariensimulationen durchgeführt. Dabei ist eine realistische und korrekte Repräsentation der in einer einzelnen Erdwärmesonde ablaufenden hydraulischen und thermischen Prozesse sowie des Wärmetransfers zwischen Sonde und geologischem Untergrund von großer Bedeutung für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss verschiedener Parameter auf die Speicherung großer Wärmemengen zu quantifizieren. Dafür werden die thermischen Ausbreitungsprozesse mithilfe eines detaillierten numerischen 3D-Modells einer 100 m langen Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonde unter Berücksichtigung von Geometrie und Komponenten der Erdwärmesonde (zirkulierendes Wärmeträgerfluid, Sondenrohr und Bohrlochhinterfüllung) und des Aquifers untersucht. Die Modellparametrisierung erfolgt anhand typischer Werte aus der Literatur.

Die Quantifizierung des Einflusses der thermischen Parameter von Bentonit und Aquifer sowie der Pumprate auf die Wärmeausbreitung erfolgt mithilfe einer Sensitivitätsanalyse. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Bentonits den Wärmetransfer zwischen Sonde und Aquifer verstärkt, während die Wärmekapazität des Bentonits keinen Einfluss auf diesen hat. Die Wärmeleitfähigkeit des Aquifers beeinflusst den diffusiven Wärmetransport, sodass bei erhöhter Wärmeleitfähigkeit die Wärme schneller transportiert wird. Das führt kurzzeitig zu erhöhten Temperaturen nahe der Erdwärmesonde, längerfristig jedoch zu einer verringerten Temperatur im Aquifer. Bei vergleichsweise geringeren Wärmeleitfähigkeiten wird dieser Effekt invertiert. Bei einer um den Faktor 1,25 erhöhten Wärmeleitfähigkeit des Aquifers wird 14 % mehr Wärme im Aquifer gespeichert. Eine hohe Wärmekapazität führt hingegen zu geringeren Temperaturen im Aquifer. Jedoch wird bei einer 1,2-mal höheren Wärmekapazität des Aquifers lediglich 1,5 % mehr Wärme im Aquifer gespeichert. Eine erhöhte Fließgeschwindigkeit des Wärmeträgerfluids in der Sonde führt ebenso wie eine Verringerung der Wärmekapazität des Aquifers zu einer Erhöhung der Temperatur im Aquifer. Die im Aquifer gespeicherte Wärmemenge erhöht sich bei einer verdoppelten Pumprate nur um 1,5 %.

Numerische und experimentelle Untersuchungen zum Deformationsverhalten von Salzkavernen bei fluktuierenden Betriebsdrücken

NORBERT BÖTTCHER¹, THOMAS NAGEL¹, UWE-JENS GÖRKE¹, YVONNE LINS², DIETHARD KÖNIG², OLAF KOLDITZ¹

¹ Department Umweltinformatik, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ

² Lehrstuhl für Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: norbert.boettcher@ufz.de

Im Rahmen der Energiewende in Deutschland wird sich der Fokus der Stromerzeugung in naher Zukunft auf erneuerbare Energien richten. Anders als bei konventionellen Kohle- oder Atomkraftwerken unterliegen die Abgabeleistungen von z.B. Wind- und Solarkraftwerke saisonalen und täglichen Schwankungen. Um eine kontinuierliche Stromversorgung zu gewährleisten, müssen im Hinblick auf den wachsenden Anteil erneuerbarer Energieproduktion die Möglichkeiten zur Energiespeicherung erweitert und ausgebaut werden. Eine bereits angewandte Technologie zur Energiespeicherung ist die Nutzung unterirdischer, künstlicher Salzkavernen zur Speicherung von Energieträgern wie z. B. Erdgas oder Druckluft. Salzkavernen werden genutzt, weil ihre Herstellung im Vergleich zur Herstellung von Felsgesteinskavernen einfacher und kostengünstiger ist.

Gaskavernen ermöglichen eine kurzfristige Energiespeicherung (im Bereich von Stunden bis Tagen), was zu starken Druckschwankungen im inneren der Kaverne führt. Im Rahmen dieser Arbeit soll der Einfluss von fluktuierenden Betriebsdrücken auf die Stabilität des Wirtsgesteins mit Hilfe numerischer Simulationen untersucht werden. Dafür wurde ein gekoppeltes Thermo-Hydro-Mechanisches (THM) Modell entwickelt und in die open-source Softwareplattform OpenGeoSys implementiert,

Unsere Simulationen berücksichtigen das thermodynamische Verhalten der Speichergase während der Befüllungs- und Entladungsvorgänge. Dadurch lassen sich die veränderlichen Druck- und Temperaturzustände an der Kavernenwand bestimmen, die als Randbedingungen für die Simulation der Deformations- und Spannungszustände des umgebenden Salzgesteins dienen. Hierfür verwenden wir nicht-lineare Materialmodelle, die sowohl stationäres und instationäres Fließen sowie die Selbstheilungseigenschaften des Salzgesteins beschreiben. Um die notwendigen Materialparameter zu bestimmen, führen wir umfangreiche Experimente zum Deformations- und Bruchverhalten an verschiedenen Gesteinsproben durch.

Ziel der Arbeit ist es, eine belastbare Aussage über die Standortsicherheit von Gasspeicherkavernen bei verschiedenen Betriebsarten zu liefern. Die entwickelten und parametrisierten Modelle werden einen Beitrag zur Erstellung eines Atlanten zur unterirdischen Raumplanung für das Land Schleswig-Holstein liefern.

Klimaneutrale Flexibilisierung regenerativer Überschussenergie mit kombinierten Unterspeichern

MICHAEL KÜHN¹, NATALIE NAKATEN¹, MARTIN STREIBEL², THOMAS KEMPKA¹

¹ Hydrogeologie, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

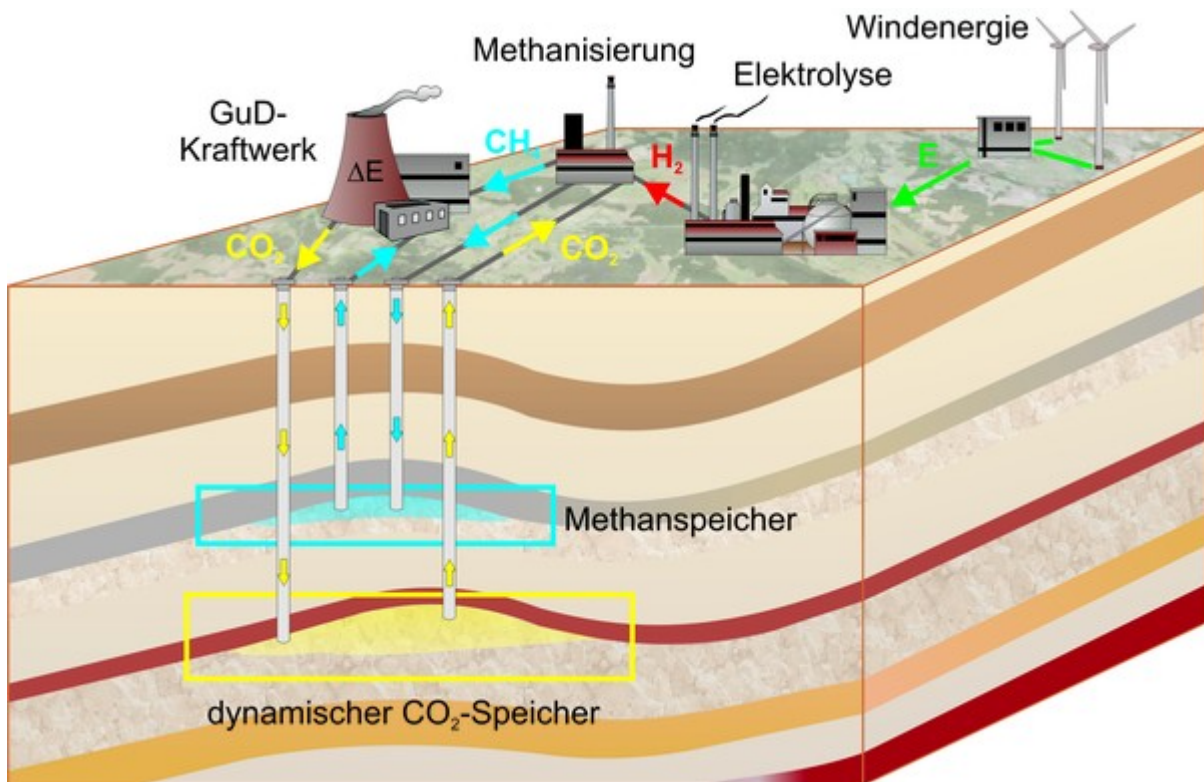
² Zentrum für Geologische Speicherung, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

Kontakt: michael.kuehn@gfz-potsdam.de

Die Bundesregierung gibt in ihrer Energiestrategie vor, dass die regenerativen Energien massiv ausgebaut werden, so dass sie eine tragende Säule der Energieversorgung darstellen und, um so den Ausstoß von CO₂ reduzieren. Zu einer entsprechenden Empfehlung ist auch die Ethik-Kommission „Sichere Energieversorgung“ gekommen und konstatiert, dass saisonale Energiespeicher unter Nutzung von Wasserstoff oder Methan langfristig notwendig werden.

Die hier vorgestellte, erweiterte „Power-to-Gas-to-Power“-Technologie (PGP, Abbildung) beruht auf der Erzeugung von Wasserstoff aus regenerativen Energien und daraus produziertem Methan unter Einsatz von im Kreislauf geführtem Kohlenstoffdioxid. Beide Gase werden in zwei beieinander lokalisierten, kombinierten Unterspeichern vorgehalten. Bei Energiebedarf wird Methan vor Ort in einem Gas- und Dampfturbinenkraftwerk umgesetzt, Kohlenstoffdioxid abgetrennt und emissionsneutral wieder in den Unterspeicher verbracht. Für die Bestimmung des notwendigen Energieeinsatzes beim Betrieb der CO₂- und CH₄-Unterspeicher wurden diese zunächst mit Hilfe numerischer Simulationen untersucht, um die Druckdynamik im Speicher während der Ein- und Ausspeicherung im Jahreszyklus zu bestimmen (Streibel et al. 2013). Die Rechnungen dienen als Grundlage, um den Energieeinsatz bei der Einspeisung der Gase in die jeweiligen Unterspeicher unter Berücksichtigung der spezifischen, temperatur- und druckabhängigen Eigenschaften von CH₄ und CO₂ zu berechnen. Unter Berücksichtigung aller Einzelschritte berechnet sich ein Gesamtwirkungsgrad von 27,7 % (Streibel et al. 2013) und Stromgestehungskosten von insgesamt 20,43 Eurocent/kWh (Kühn et al. 2013). Obwohl der Wirkungsgrad geringer als jener von Pump- und Druckluftspeichern ist, sind die resultierenden Kosten auf gleichem Niveau und damit konkurrenzfähig.

Der große Vorteil des hier vorgeschlagenen Konzepts im Gegensatz zu bisherigen PGP-Ansätzen ist, dass es emissions- und damit klimaneutral ist. Teil des Konzepts ist ein CO₂-Speicher in der Größenordnung von 100.000 t CO₂, der wie in Ketzin/Havel gezeigt technisch, aber auch bezüglich der Akzeptanz in der Bevölkerung, realisierbar ist (Liebscher et al. 2012). Für die Technologie spricht weiterhin, dass sie umgehend umgesetzt werden könnte, weil sie zum wesentlichen Teil auf vorhandener Infrastruktur beruht. Würden die ca. 20 Standorte in Deutschland mit Erdgasporenspeichern um „kleine“ CO₂-Speicher in der Größenordnung des Pilotspeichers in Ketzin/Havel erweitert, dann könnte eine wesentliche Menge der in Deutschland produzierten Wind- und Sonnenenergie darin in Form von Methan gespeichert werden.



Prinzip eines integrierten stofflichen Energiespeicherkonzepts auf CH₄- und CO₂-Basis in Kombination mit einer emissionsarmen bis emissionsfreien Kohlenstoffkreislaufwirtschaft durch Einsatz eines GuD-Kraftwerks.

Kühn, M.; Nakaten, N.; Streibel, M.; Kempka, T. (2013): Klimaneutrale Flexibilisierung regenerativer Überschussenergie mit Untergrundspeichern : Carbon Neutral and Flexible Underground Storage of Renewable Excess Energy. ERDÖL ERDGAS KOHLE, 129, 10, 348-352

Liebscher A., Martens S., Möller F., Lüth S., Schmidt-Hattenberger C., Kempka T., Szzybalski A., Kühn M. (2012) Überwachung und Modellierung der geologischen CO₂-Speicherung - Erfahrungen vom Pilotstandort Ketzin, Brandenburg (Deutschland). Geotechnik 35(3), 177-186. doi: 10.1002/gete.201200005

Streibel, M.; Nakaten, N.; Kempka, T.; Kühn, M. (2013): Analysis of an Integrated Carbon Cycle for Storage of renewables. Energy Procedia, 40, 202-211. doi: 10.1016/j.egypro.2013.08.024

P 11.11

Parametrisierungsbedarf für eine Raumordnung des geologischen Untergrundes

FRANK DETHLEFSEN¹, SEBASTIAN BAUER¹, MARKUS EBERT¹, ANDREAS DAHMKE¹

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

Kontakt: fd@gpi.uni-kiel.de

Die „Energiewende“ erfordert die geologische Zwischenspeicherung von Energie in Form von produzierten Gasen (Druckluft, Methan, Wasserstoff) oder Wärme, da die Wind- und Solarenergieproduktion diskontinuierlich geschieht und sich nicht am zeitgleichen Verbrauch orientiert. Die Ausweitung dieser Untergrundnutzungen kann Konkurrenzen untereinander sowie mit anderen Formen der Untergrundnutzung provozieren. Eine unterirdische Raumplanung, die diese Nutzungskonkurrenzen berücksichtigt und die darüber hinaus eine Planungsgrundlage für eine möglichst effiziente und verträgliche Nutzung des Untergrundes darstellt, besteht hingegen

nicht. Das übergeordnete Ziel ist daher, Methoden für die Erstellung einer Raumordnung des geologischen Untergrundes zu erarbeiten.

Neben einer Weiterentwicklung numerischer Modelle, die in der Lage sind hydraulische, chemische, mechanische und temperaturabhängige Prozesse zu koppeln, ist deren Parametrisierung ausschlaggebend für eine fundierte Prognose von Nutzungsauswirkungen und – konkurrenzen als Bestandteile einer unterirdischen Raumplanung. Die Parametrisierung umfasst die Kenntnis von repräsentativen Eigenschaften der Speicherhorizonte, aber auch der hangenden Formationen einschließlich oberflächennaher Schutzgüter. In diesem Zusammenhang ist zu klären, welche Daten zur Parametrisierung von Modellen und Prozessen benötigt werden, welche der benötigten Daten vorliegen und inwiefern diese Daten als repräsentativ angesehen werden können.

Im tiefen Untergrund sind beispielsweise in Bereichen von Erdöl- und Erdgaslagerstätten die hydraulischen Permeabilitäten aber auch hydro- oder geochemische Parameter vergleichsweise gut charakterisiert. Oberflächennah sind die hydrochemischen Grundwassereigenschaften, aber auch hydraulische Gradienten und Permeabilitäten, sowohl durch Wasserversorgungsunternehmen als auch durch die Nutzung staatlicher Überwachungsmessnetze, gut bekannt. Kenntnisdefizite bestehen beispielsweise bei Kapillardruck-Sättigungsbeziehungen, die essentiell zur Berechnung von Mehrphasenflüssen sind, und insbesondere oberflächennah mangelt es an Messwerten mineralogischer Parameter (z.B. C_{org} , Kalzit oder Pyrit). Die Beurteilung hinsichtlich der Repräsentativität der vorliegenden Daten erfolgt auf Basis von (geo)statistischen Auswertungen, wie die Berechnung von Korrelationslängen oder durch regionalisierte Häufigkeitsverteilungen geschehen.

Als Konsequenz der in dieser Arbeit durchgeführten kritischen Bewertung aktuell durchführbarer Parametrisierungen werden neue Ansätze zur Erkundung von Parametern abgeleitet. Der zeitliche Rahmen für die Schließung von aufgezeigten Parametrisierungslücken beeinflusst dabei maßgeblich die Weiterentwicklung der unterirdischen Raumplanung.

P 11.12

Stable carbon isotope fractionation data used for pH reconstruction for CO₂-rich fluids

ANSSI MYRTTINEN¹, VEITH BECKER¹, BERNHARD MAYER¹, JOHANNES BARTH¹

¹ GeoZentrum Nordbayern, Lehrstuhl Angewandte Geologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Kontakt: johannes.barth@fau.de

Determining the pH value of deep fluids in contact with elevated CO₂ pressures (pCO_2) is often challenging since such samples are subject to pH shifts due to CO₂ degassing at surface prior to actual pH measurements. Examples of environments where fluid samples with elevated CO₂ levels may be expected include regions in contact with present or past volcanic activity, or in reservoirs of carbon capture and storage (CCS) projects. Here we propose a proxy-method for reconstructing *in situ* pH levels using stable carbon isotope fractionation (e_{DIC-CO_2}) data between dissolved inorganic carbon (DIC) and CO₂. This data is subsequently used to determine the ratio between

two co-existing DIC species and hence, provides the necessary data to calculate the pH at defined temperatures.

To verify this approach, a series of experiments were carried out with a pressure-temperature device that contained 50 mL of water and 10 mL of NaOH and was subjected to 55 bar ($p\text{CO}_2$). Temperatures ranged between 20 and 100 °C. For stable carbon isotope data analysis, DIC (here a mixture of H_2CO_3 and HCO_3^-) and gaseous CO_2 were sampled separately in gas bags in order to avoid contamination with atmospheric carbon. Reconstructed pH values fit excellently with theoretically predicted values and ranged between 5.5 and 6.4, with corresponding $\epsilon_{\text{DIC-CO}_2}$ values of 0.0 and 0.3 ‰, depending on the temperature. IN comparison measured pH values were all higher by an average of 1.4 pH units most plausibly due to CO_2 de-gassing. Hence, the described method may be used as a valuable tool to reconstruct *in situ* pH levels of CO_2 charged deep fluids, provided that temperature and carbon isotope data of both the headspace CO_2 gas and DIC have been determined accurately.

12 Groundwater quality

Oral Presentations

O 12.1: H19, NW II, 29.05.2014, 12:20-12:40

Auswirkung landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf Nitratkonzentrationen in einem Karstgrundwasserleiter in Irland

MANUELA HUEBSCH¹, BRENDAN HORAN², PHILIPP BLUM¹, KARL RICHARDS³, JIM GRANT⁴, OWEN FENTON³

¹ KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe, Deutschland

² Teagasc, Moorepark, Co. Cork, Ireland

³ Teagasc, Environmental Research Centre, Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland

⁴ Teagasc, Kinsealy Research Centre, Dublin, Ireland

Kontakt: manuela.huebsch@partner.kit.edu

Intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung stellt ein Umweltrisiko hinsichtlich erhöhter Nitratwerte im Grundwasser dar. Besonders stark wirken sich anthropogene Einflüsse auf die Grundwasservulnerabilität bei geklüfteten und verkarsteten Grundwasserleitern mit geringem Bodenauftrag aus. Das Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss lokaler Wetterbedingungen, (hydro-)geologischer Standorteigenschaften und Veränderungen der Menge und Anwendungsverfahren von landwirtschaftlichem Stickstoffauftrag eines Milchviehbetriebes auf Nitratkonzentrationen eines Karstgrundwasserleiters auszuwerten (Abb. 1, Huebsch *et al.*, 2013). Für die Studie wurden innerhalb von 11 Jahren (2002-2011) monatliche Nitratkonzentrationen in 11 Grundwassermessstellen (GWM) gemessen als auch die verschiedenen Stickstoffauftragsarten und Mengen jeder Weidekoppel. Als statistisches Verfahren wurde multiple lineare Regression angewandt. Ein Markierungsversuch und geoelektrische Messungen dienten als Grundlage von 4 Szenarien, welche die gemessenen Nitratkonzentrationen der einzelnen GWM in Bezug zu unterschiedlichen Clustern einzelner Weidekoppeln setzte. Das einfachste Szenario stellte Szenario 1 dar, welches den direkten vertikalen Bezug einer GWM zur jeweiligen Koppel an der Oberfläche implizierte. Zusätzlich wurde eine zeitliche Verzögerung vom Stickstoffauftrag an der Oberfläche zur gemessenen Nitratkonzentration im Grundwasser von 1 bis 3 Jahren berücksichtigt. Von allen Szenarien lieferte Szenario 1 die besten Ergebnisse. Diese weisen darauf hin, dass sowohl spezifische Standorteigenschaften wie Mächtigkeit des Bodens und der ungesättigten Zone, also auch lokale Wetterbedingungen wie Niederschlag und Sonnenscheindauer wichtige Einflussfaktoren darstellen. Des Weiteren deuten die Ergebnisse an, dass landwirtschaftliche Bewirtschaftungsveränderungen nach einer Dauer von 1 bis 2 Jahren zu einer Reduktion der Nitratkonzentrationen im Grundwasser geführt haben. Dabei spielten die Veränderung der Auftragszeit der Gülle im jeweiligen Kalenderjahr, als auch die Reduktion von anorganischem Dünger eine große Rolle. Zudem ist davon auszugehen, dass der Standortwechsel eines Schmutzwasserverteilers in eine weniger verkarstete Region und die Einführung von minimaler Bodenbearbeitung mit anschließender Aussaat anstatt von Pflügen zu einer Verbesserung der Grundwasserqualität beigetragen hat. Der gewählte Ansatz ist ein geeignetes Mittel, um die Konsequenzen von landwirtschaftlichen Methoden auf die Grundwasserqualität aufzuzeigen und kann in vulnerablen Gebieten für die Beurteilung von gegenwärtigen und zukünftigen Gesetzesbestimmungen genutzt werden.

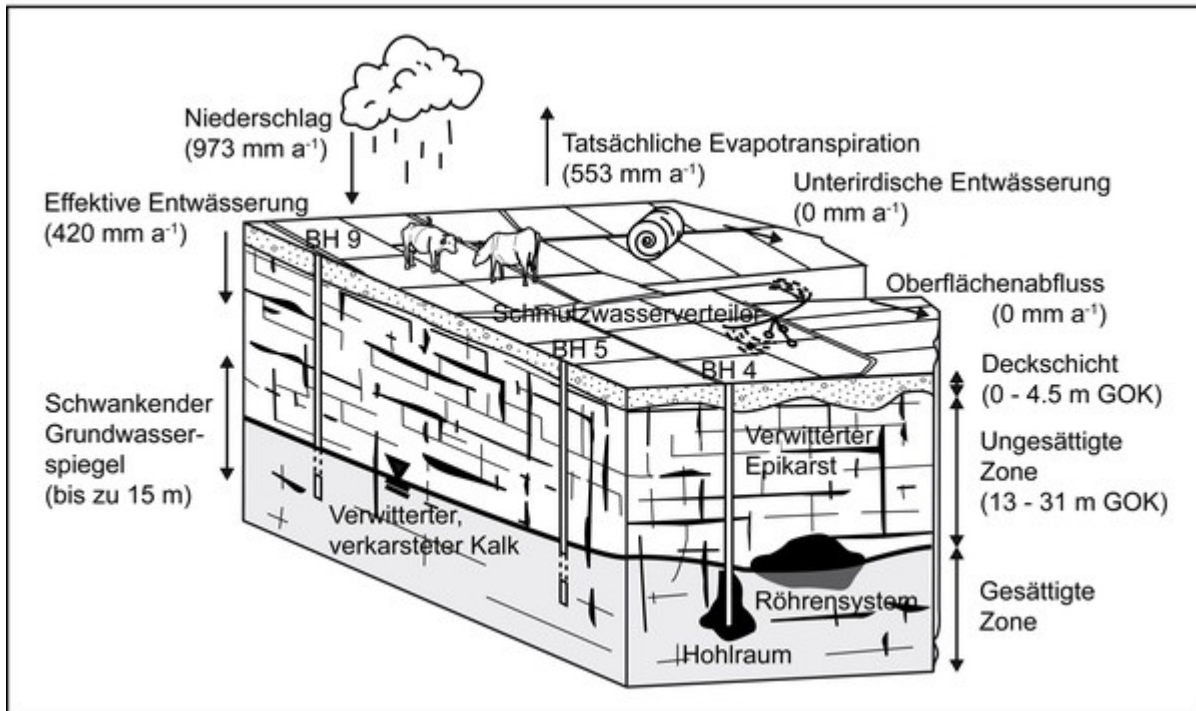


Abb. 1: Konzeptmodell des untersuchten Gebietes veranschaulicht anhand von Daten des Jahres 2005 (nach Huebsch et al. (2013)).

Huebsch, M., Horan, B., Blum, P., Richards, K.G., Grant, J. & Fenton, O. (2013): Impact of agronomic practices of an intensive dairy farm on nitrogen concentrations in a karst aquifer in Ireland, *Agric. Ecosyst. Environ.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.021>

O 12.2: H19, NW II, 29.05.2014, 12:40-13:00

Approach to estimate the nitrate degradation capacity of deep porous aquifer at two waterworks in the Lower Rhine Valley

DOREEN MÄURER¹, FRANK WISOTZKY²

¹ Tauw GmbH, soil and groundwater

² Ruhr-University Bochum, Hydrology department

Kontakt: doreen.maeurer@tauw.de

Groundwater quality is a concern in aquifers which are affected by agricultural areas worldwide. Decades ago huge amounts of nitrogenous fertiliser are applied in agricultural used areas, like in the Lower Rhine Valley. Significant quantities of nitrate ended up in surface water and aquifers which were used for public water supply. In the upper quaternary aquifers the concentrations of nitrate often exceed the threshold value of 50mg/l from the Drinking Water Ordinance. Therefore the groundwater extraction is frequently carried out from deeper tertiary aquifers, because there are lower nitrate concentrations. But this change in extraction depth is mostly only a medium-term solution. With a time lag the nitrate can reach the extraction wells of deep aquifers. This depends on the local hydrogeological/geochemical conditions of the aquifer.

The chair of Applied Geology at the Ruhr-University Bochum carried out hydraulic/hydrochemistry

investigations in two waterworks with different field/laboratory experiments.

The aim of these investigations were to

- assess the natural potential of the aquifer to reduce nitrate
- estimate the risk of increasing nitrate concentration in deep wells.

The special approach relied on the assessment of the complex hydrogeological processes in deep aquifers in respect to lithotrophic/organotrophic denitrification. For evaluation of the hydraulic situation/hydrogeochemistry and especially to compensate the low density of observation wells in deep aquifers new wells (one multi-level with 13 different levels) were installed up to a depth of 182m. Soil samples from two wells were used to carry out batch tests (S4) / recycle column experiments (CE). The CE are representative for closed systems, where relevant parameters of solid material (sedimentary bound sulphur S_{Pyrit} , total sulphur S_{ges} , organic/anorganic carbon $C_{\text{org}}/C_{\text{anorg}}$) / of water (nitrate, sulfate, hydrocarbonate, iron, manganese) were quantified.

Results of the soil material showed that the content of S_{Pyrit} , S_{ges} , C_{org} , C_{anorg} are representative for the tertiary aquifer and nearly unchanged or increased with the depth. Comparatively high contents of C_{anorg} attest the existing potential of neutralisation of protons (H^+), which will be delivered during the lithotroph denitrification. The results of the CE were used for the process orientated modelling with the computer code PhreeqC. Additionally analytical methods (e.g. calculation by using a representative unit of 1m^3) were used to estimate the nitrate degradation capacity of porouse media.

The final risk assessment for the two waterworks showed that there is enough sedimentary bound material in the tertiary sediments to reduce existing nitrate effectivly. Between 40-71% of the sedimentary S_{Pyrit} / 2-58% of the sedimentary C_{org} , which were built in the CE, contributed to sucessful nitrate degradation. So that for at least for the next one hundred years a risk of nitrat concentration in deep wells can not to be expected.

O 12.3: H19, NW II, 29.05.2014, 14:00-14:20

Neue Einblicke in die Mechanismen der Isotopenfraktionierung bei der Denitrifikation

FLORIAN EINSIEDL¹, ANJA WUNDERLICH¹

¹ Lehrstuhl für Hydrogeologie, Technische Universität München

Kontakt: f.einsiedl@tum.de

Die stabilen Isotope von Stickstoff und Sauerstoff des gelösten Nitrats werden in der Regel dazu verwendet, Nitratquellen zu bestimmen und die biogeochemischen Prozesse zu entschlüsseln, die für die Umsetzung von Stickstoff in aquatischen Habitaten entscheidend sind. In unseren Experimenten konnten wir nun verschiedene Einflussfaktoren wie die Art der Kohlenstoffquelle oder den Austausch zwischen dem Wassersauerstoff mit den Sauerstoffmolekülen des gelösten Nitrats über das Stickstoffintermediat Nitrit auf die Isotopenzusammensetzung des Restnitrats bei der Denitrifikation klären. Die neuen Ergebnisse werden im Kontext einer eindeutigen Quellenbestimmung des Nitrats und dem sicheren Nachweis der Denitrifikation für aquatische Habitate diskutiert.

Fundstellenaufklärung an 35 Grundwassermessstellen in Mecklenburg-Vorpommern hinsichtlich Nitrat, Ammonium und Pflanzenschutzmittelwirkstoffen

STEPHAN HANNAPPEL¹, GABRIELE LEMKE²

¹ HYDOR Consult GmbH

² Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

Kontakt: hannappel@hydor.de

Ziel war die Aufklärung der möglichen Ursachen langjährig festgestellter, deutlich erhöhter Stickstoffkonzentrationen oberhalb der EU-Schwellenwerte in ausgewählten Messstellen des in Mecklenburg-Vorpommern betriebenen Landesmessnetzes.

Bei einigen Messstellen mit erhöhten Ammoniumgehalten konnten die Ursachen aufgrund der hydrogeologischen Lagerungsbedingungen in tiefen, bedeckten Grundwasserleitern und des aktuellen Kenntnisstandes zu den natürlichen Hintergrundgehalten als geogen bedingt identifiziert werden.

Auf die der Mehrzahl der Messstellen hingegen mit zumeist stark erhöhten Nitratgehalten traf das zweifelsfrei nicht zu. Hier wurden zunächst die lokalen Fließverhältnisse des Grundwassers im Gelände mit geeigneten Feldmethoden geotechnisch untersucht. Zum Einsatz kam nach einer Kosten-/Nutzenanalyse sowohl die Einbohrlochmethode der Fa. PHREALOG, in deren Ergebnis die Fließrichtung und -geschwindigkeit laseroptisch ermittelt als auch das auf Rammkernsondierungen basierende Verfahren des „Hydrologischen Dreiecks“. Im Vergleich mit dem bisherigen landesweiten Grundwasser-gleichenplan wurden z. T. erhebliche Abweichungen der Fließrichtungen festgestellt, die auf lokale Inhomogenitäten im Substrataufbau der Grundwasserleiter zurückgeführt werden.

Anschließend wurden mit diesen standortbezogenen Daten Zustromgebiete des Grundwassers zu den Messstellen konfiguriert, innerhalb derer das Grundwasser stets fünf Jahre im Untergrund unterwegs ist. Vernachlässigt wurden dabei die z. T. noch deutlich längeren Aufenthaltszeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone.

Die chemischen Analysedaten der 35 Messstellen wurden anschließend eingehend und unter Berücksichtigung ihrer geologischen Schichtenverzeichnisse auf mögliche Ursachen der Grundwasserbelastung hin vierfach klassifiziert. Bei etwa der Hälfte der Messstellen davon konnten entweder geogene Ursachen (z. T. Aufstieg von versalztem Tiefenwasser) oder der Eintrag von Stoffen (z. B. PSM, Bor, Kalium) festgestellt werden, die primär auf Prozesse hindeuten, die nicht eindeutig durch die landwirtschaftliche Flächenbewirtschaftung verursacht worden sind.

Bei der anderen Hälfte der Messstellen wurde aufgrund des Vergleichs der Daten zum Stickstoffaustrag aus der durchwurzelten Bodenzone konstatiert, dass innerhalb der Zustromgebiete ein deutlicher Zusammenhang zwischen diesen Emissionsdaten und den Immissionsdaten im Grundwasser besteht, die Quelle des Eintrags also sicher die landwirtschaftlichen Flächenbewirtschaftung ist. Allerdings bestehen Unsicherheiten in der Quantifizierung des Zusammenhangs, da die Daten zum Stickstoffaustrag aus dem Boden nicht den Abbau in der gesamten ungesättigten Zone berücksichtigen und der landwirtschaftlich bedingte Düngungseintrag vor allem in Landesteilen mit lehmigen und fruchtbaren Böden sehr lange zurück liegen kann.

Prognosemodelle zur Erfassung von Entwicklungstrends in der Grundwasserqualität unter den Bedingungen einer sich wandelnden Umwelt

CHRISTINE KÜBECK¹, REINHARD FOHRMANN¹, AXEL BERGMANN¹

¹ IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH

Kontakt: c.kuebeck@iww-online.de

Im Fokus dieser Arbeit steht der Einsatz von Prognosemodellen zur Berechnung des Wasser- und Stoffhaushalts in Grundwasserkörpern unter den Bedingungen einer sich wandelnden Umwelt. So wurden in verschiedenen Forschungsprojekten neben Auswirkungen klimatischer Änderungen und einer In- oder Extensivierung der Landwirtschaft auch ein Nachlassen des Nitratabbaupotenzials in Grundwasserleitern analysiert und hinsichtlich ihres Gefährdungspotenzials auf die Grundwasserqualität bewertet (u.a. www.dynaklim.de, DVGW 2013 und IWW 2010).

Unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien wurde im Rahmen des BMBF-Projektes „dynaklim“ für die Projektregion „Emscher-Lippe“ gezeigt, dass ein in der Zukunft steigender Beregnungsbedarf landwirtschaftlicher Nutzflächen zu einer wesentlichen Verschlechterung der Grundwasserkörper führen wird. Neben der entnahmebedingten Reduktion des Grundwasserdargebots (Barein et al. 2013) entstehen insbesondere durch die Bewässerung mit Grundwasser qualitative Risiken. Zur Abschätzung der Grundwasserbelastung hinsichtlich der prognostizierten Beregnungsmengen wurde ein reaktives Stofftransportmodell entwickelt, mit dem szenariengesteuerte Prognoserechnungen auf der Basis zu erwartender Klimatrends durchgeführt wurden. Insbesondere die Nutzung oberflächennaher Grundwässer für die Beregnung stellt neben der Düngung eine zusätzliche Eintragsquelle v.a. für Nitrat dar. Werden diese bei der Bemessung der N-Düngung nicht angerechnet, erhöht sich hierdurch der N-Austrag unter diesen Flächen und damit die Nitratbelastung des Grundwassers exponentiell.

Bei der Nutzung nitratfreier Grundwässern aus den tieferen Sedimentschichten zeigt sich dahingegen zunächst keine Belastung durch Nitrat, jedoch kann es zu einer Beeinträchtigung der Bodenzone durch Mineralausfällungen kommen. So weisen reduzierte Grundwässer z.T. hohe Schwermetallkonzentrationen auf, die im Kontakt mit Luftsauerstoff als Oxid-/Hydroxidphasen ausgefällt werden.

Die Nutzung von Prognosemodellen hat sich somit als wirkungsvolles Werkzeug erwiesen, mit dem die Auswirkungen verschiedenster Entwicklungsszenarien auf die Grundwasserressourcen quantitativ beschrieben und damit als Grundlage zur Erarbeitung nachhaltiger Bewirtschaftungskonzepte genutzt werden können. So konnte für die Projektregion „Emscher-Lippe“ beispielhaft gezeigt werden, dass eine weitere Bewilligung von Grundwasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Beregnung nur nach kritischer Analyse der hydrogeochemischen Prozesse im Grundwasserleiter erfolgen sollte, um einer Verschlechterung des Grundwasserkörpers entgegen zu wirken.

Barein A, Werner F, Meßer J, Fohrmann R (2013): Prognose der Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells am Beispiel der RWW-Wassergewinnung Üfter Mark.- dynaklim-Publikation Nr. 42. www.dynaklim.de

DVGW (2013): Konsequenzen nachlassenden Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern,- Abschlussbericht, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben W1/06/08.

IWW (2010): Ein Prognosewerkzeug zur Berechnung der Nitratausbreitung in wasserwirtschaftlich genutzten

O 12.6: H19, NW II, 29.05.2014, 15:00-15:20

Injection of nanosized iron oxides into aquifers

JULIAN BOSCH¹, ANDREAS FRITZSCHE²

¹ Institut für Grundwasserökologie, Helmholtz Zentrum München

² FSU Jena, LS Hydrogeologie

Kontakt: a.fritzsche@uni-jena.de

Microbial Fe(III) reduction is an important biogeochemical process in suboxic aquifers. It is coupled to the oxidation of organic matter (OM), e.g. organic contaminants, resulting in their degradation. However, the low bioavailability of aged, immobile Fe oxides in aquifers limits the rate and extent of microbial Fe(III) reduction and thus the rate and extent of OM oxidation, i.e. the degradation of organic contaminants. Compared to their intensively aggregated and crystalline counterparts, colloidal Fe oxide aggregates exhibit an enhanced reactivity and availability. This suggests their promising application for an extensive remediation of BTEX- and PAH-contaminated aquifers. However, an economically reasonable remediation of whole aquifers requires the buildup of a sufficiently sized zone enriched with colloidal Fe oxides, i.e. the reactive zone, with the lowest possible number of injection wells. In turn, this requires Fe oxides with a high, but finite mobility within the aquifer. We developed industrially producible suspensions of Fe oxide aggregates. These were stabilized at $d_H \sim 500$ nm unless they were in contact with strong electrolyte solutions, i.e. the groundwater from a tar oil-contaminated aquifer below a former smoulder facility, which served as test site for our field-scale studies. In contact with groundwater, colloid aggregation occurred rendering them immobile within the aquifer. This prevented the advective discharge of the injected Fe oxides from the reactive zone. Approximately 23 m^3 of Fe oxide suspension were injected at a rate of $\sim 1.8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. This produced a homogeneous reactive zone of ~ 5 m in diameter and ~ 4 m in height. Pore clogging was not critical. Thus, the suspension was introduced gravitationally to the aquifer, except for the final injection stage, where an extra pressure up to 30 kPa had to be applied. We detected a direct and immediate response of the pressure heads in ambient wells, which were 30 - 200 m distant from the injection well. This increase was higher than the previous daily variations but was remarkably lower than the variations on a monthly and annual basis. This in particular applies when considering single events like the extreme rainfalls in late spring 2013. Consequently, the injection of such Fe oxide suspensions is not considered to artificially damage the pore architecture in the aquifer, which would cause severe subsequent complications. If the injected Fe oxide colloids perform comparably to the lab-scale observations in terms of BTEX degradation and toxicity, we consider this remediation technique as sustainable, cost-efficient way for oxidative contaminant degradation in sub-/anoxic porous media with a low risk of post-injection complications.

-

Exportverhalten gelöster Stoffen aus Einzugsgebieten

ANDREAS MUSOLFF¹, CHRISTIAN SCHMIDT¹, BENNY SELLE², JAN H. FLECKENSTEIN¹

¹ Dep. Hydrogeologie, UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

² WESS - Water & Earth System Science, University of Tübingen

Kontakt: andreas.musolff@ufz.de

Die zeitliche und räumliche Variabilität des Exports gelöster Stoffe aus Einzugsgebieten wird von einer Vielzahl natürlicher und anthropogener Prozesse gesteuert. Wir präsentieren einen methodischen Ansatz, das Stoffexportverhalten aus Einzugsgebieten zu charakterisieren, zu klassifizieren und Haupttreiber dieses Verhaltens zu analysieren. Der top-down Ansatz kombiniert zwei Indizes des Export-Verhaltens: Zum einen der Anstieg der linearen Beziehung von logarithmierten Konzentrationen und Abflüssen, zum anderen das Verhältnis der Variationskoeffizienten von Konzentration und Abfluss. Mit Hilfe dieser Indizes kann chemostatisches Verhalten (Konzentrationsänderungen gering gegenüber Änderungen des Abflusses) und chemovariablen Verhalten (Konzentrationen variieren mit Abflussänderungen) sowie die Richtung des Konzentrations-Abfluss-Verhältnis (Konzentrationen steigen bzw. fallen mit Abflusserhöhung) charakterisiert werden. Diese Methodik wird auf eine 16-jährige Zeitreihe der Konzentrationen von Hauptionen und Nährstoffe sowie des Abflusses in 7 Teileinzugsgebieten des Bode-Einzugsgebiets angewendet. Insbesondere Nitrat zeigt ein ausgeprägt chemodynamisches Verhalten mit positiven Zusammenhängen zwischen Konzentrationen und Abfluss, sprich höheren Konzentrationen bei höheren Abflüssen. Beide Indizes korrelieren signifikant positiv mit dem Flächenanteil drainierter landwirtschaftlicher Nutzfläche in den untersuchten Teileinzugsgebieten. Mit zunehmender künstlicher Drainage ist die Dynamik von Nitratkonzentrationen ausgeprägter und deutet auf die Steuerung des Exportverhaltens durch diesen Eintragspfad hin. Ionen mit hoher Verfügbarkeit in den Einzugsgebieten, wie z.B. Magnesium weisen im Gegensatz dazu ein ausgeprägt chemostatisches Verhalten auf. Ionen mit geologisch limitierter Verfügbarkeit, wie Hydrogenkarbonat neigen zu mehr chemovariablen Exportverhalten mit sinkenden Konzentrationen bei steigenden Abflüssen (Verdünnungseffekt). Diese Art der top-down Analyse hilft, Steuergrößen des Exportverhaltens zu identifizieren und damit zum einen Monitoringprogramme zu optimieren und zum anderen Anregungen für Prozessforschung zu geben.

Hydrogeologisches System- und Prozessverständnis zur Beurteilung komplexer LCKW-Kontaminationen im urbanen Raum (Projekt MAGPlan, Stuttgart)

WOLFGANG UFRECHT¹, HERMANN KIRCHHOLTES¹, STEFAN SPITZBERG²

¹ Amt für Umweltschutz, Stadt Stuttgart

² BoSS-Consult

Kontakt: wolfgang.ufrecht@stuttgart.de

Der jahrzehntelange Umgang mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW) in Stuttgart erzeugte ein komplexes Schadensbild in oberflächennahen und tieferen Grundwasserstockwerken. Betroffen ist dabei auch der tiefe Karstgrundwasserleiter des Oberen Muschelkalks, dem die bekannten Heil- und Mineralquellen mit einer Schüttung von rund 500 l/s entspringen. Trotz der seit 1983 standortbezogen betriebenen Sanierungen von LCKW-Schäden hat sich das Schadensbild in den tiefen Grundwasserstockwerken ebenso wie in den Mineralquellen nur unwesentlich verändert. Dies zeigt, dass die Auswirkungen wesentlicher Eintragsbereiche noch nicht erkannt, insbesondere die Mechanismen der Stoffausbreitung sowie die Entstehung des Schadensbilds im Detail noch nicht verstanden sind.

Zur langfristigen Verbesserung der Grundwasserqualität im direkten Zustrom auf die Mineralquellen (Stuttgarter Talkessel) wird im Rahmen des Projekts MAGPlan ein Konzept zur großräumigen Behandlung dieses ca. 26 km² großen, hydrogeologisch komplex strukturierten und stark kontaminierten Raums entwickelt. Die Ziele sind eine zuverlässige Gefährdungsabschätzung für das Gesamtsystem und eine räumlich differenzierte Bewertung des Schadensausmaßes im Grundwasser an den Haupteintragstellen.

Für die durch Subrosion und Verkarstung geprägten Aquifere wird das erarbeitete System- und Prozessverständnis im Hydrogeologischen Modell veranschaulicht. Dazu werden zunächst die bestehenden Daten erhoben, die im Zuge der jahrzehntelangen standortbezogenen Altlastenbearbeitung in großem Umfang angefallen sind, jedoch noch nicht in eine regionale Gesamtschau einbezogen waren. Zur Schadensfallcharakterisierung wurden „Steckbriefe“ angefertigt, welche die wichtigsten Informationen zur Schadenshistorie, zum Schadstoffpotenzial, zu den beteiligten LCKW-Einzelstoffen, zur zeitlichen und räumlichen Schadstoffausbreitung, zu Abbauprozessen und zum hydrochemischen Milieu in komprimierter Form zusammenstellen.

Gezielte Felduntersuchungen dienen der Ermittlung der Geometrie von LCKW-Schadstoffbahnen und der standortübergreifenden Verlagerung von Schadstoffen in tiefere Stockwerke. In die Auswertung einbezogen werden die Charakterisierung des hydrochemischen Milieus und natürlicher Abbauprozesse ($d^{15}\text{N}$ am Nitrat, $d^{13}\text{C}$ an LCKW-Einzelspezies), Altersdatierungen des Grundwassers (Tritium, SF₆) und forensische Betrachtungen zur Schadstoffherkunft (SF₆, Frigene, $d^{13}\text{C}$ an LCKW). Als Ergebnis einer vergleichenden Gesamtschau werden die grundlegenden Prozesse beschrieben, welche die Schadstoffausbreitung in den beteiligten Grundwasserhorizonten des Projektgebietes steuern.

Mit der Verknüpfung der verschiedenen methodischen Ansätze können Unsicherheiten im Modellverständnis oder Freiheitsgrade in der Interpretation von Einzelbefunden deutlich eingeschränkt werden, so dass das entwickelte Hydrogeologische Modell eine belastbare Basis für den Aufbau eines Strömungs- und Transportmodells darstellt.

Nachbildung der LCKW-Schadstofffahnen im Stuttgarter Untergrund mit einem reaktiven Multispezies-Modell: Identifizierung von Schadensherden (Projekt MAGPlan, Stuttgart)

ULRICH LANG¹, WOLFGANG SCHÄFER²

¹ Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH Stuttgart

² Steinbeis-Transferzentrum Grundwassermodellierung

Kontakt: info@schaefer-gwm.de

Im Rahmen des EU-Projektes MAGPlan wurde ein numerisches Strömungs- und Transportmodell auf der Basis eines detaillierten hydrogeologischen Modells erstellt. Der Untersuchungs- und Modellraum umfasst das komplexe mehrschichtige Grundwasserleitersystem, das auch eines der Neubildungsgebiete für die Heil- und Mineralquellen von Stuttgart, Bad Cannstatt und Berg ist. Im urbanen Untersuchungsraum liegen 20 kontaminierte Standorte sowie 186 altlastenverdächtige Flächen. Ziel des modellbasierten Vorgehens ist die Nachbildung der Schadstofftransportwege mit einer nachfolgenden Identifikation der Haupt-Schadensbereiche.

Zunächst wurde das Strömungsmodell anhand der über 500 Messinformationen zum Grundwasserstand in den 8 hydrogeologischen Einheiten kalibriert. Über die Betrachtung von Isotopendaten und Umwelttracern wurden die relevanten Transportparameter eingegrenzt und das Strömungsmodell validiert.

Im Schadstoff-Transportmodell wurde zunächst die Summe der LCKW-Komponenten betrachtet, um die zeitabhängigen Freisetzungsraten von LCKW aus den Schadensherden zu bestimmen. Es hat sich gezeigt, dass mit zunehmender Entfernung vom Schadensherd und zunehmender Tiefe das Modell die LCKW-Konzentrationen überschätzt, so dass ein Abbau der LCKW-Komponenten anzunehmen ist.

In einem reaktiven Multi-Spezies-Transportmodell wurden die einzelnen LCKW-Komponenten mit den Ab- und Umbauprozessen im Aquifer berücksichtigt und die gemessenen Konzentrationsganglinien der einzelnen LCKW-Komponenten nachgebildet. Zur Festlegung der Abbauparameter konnte auf die Ergebnisse eines auf der Basis von Isotopendaten und hydrochemischen Indikatoren entwickelten konzeptionellen Schadstoffmodells zurückgegriffen werden.

Mit Hilfe des reaktiven Transportmodells wurden die sich überlagernden Schadstofffahnen einzeln betrachtet, um deren relative Bedeutung für die Belastung der Heil- und Mineralquellen zu quantifizieren. Dieses Ergebnis ist eine wichtige Grundlage für die weitere Sanierungsstrategie, mit der die Belastung der Heil- und Mineralquellen minimiert werden soll.

Geochemistry of thermal waters in the northeastern part of the Eger Rift, Czech Republic: implications for ^{14}C dating

ONDREJ SRACEK¹, TEREZA DUPALOVÁ², ZBYNĚK VENCELIDES³, KAREL ŽÁK⁴

¹ Faculty of Science, Department of Geology, Palacky University

² Charles University

³ OPV s.r.o.

⁴ Academy of Science

Kontakt: srondra@seznam.cz

The investigation of the thermal waters in Ústí nad Labem area in the northeastern part of the Eger Rift aimed to determine their origin and age. Waters from geothermal reservoirs are exploited from wells from up to 616 m deep. For a comparison, thermal waters of the adjacent Teplice Spa area were also incorporated into the study. Results based on water and isotopic chemistry indicated mixing of groundwaters from aquifers of the Bohemian Cretaceous Basin (BCB) with ground water derived from crystalline rocks of the Erzgebirge Mts., represented by thermal waters in Teplice Spa, in approximately equal proportions. Compared to thermal waters in Děčín, which are of Ca-HCO_3 type, two types of thermal waters in Ústí nad Labem have been identified: $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ type with high TDS values and $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ type with low TDS values. Quartz geothermometer indicated a similar depth of circulation, from 1.2 to 1.4 km at both Ústí nad Labem and Děčín. Carbon isotope data and speciation and inverse geochemical modeling suggest a large input of endogenous CO_2 at Ústí nad Labem in the case of high TDS groundwater. Besides CO_2 input, both silicate dissolution and cation exchange coupled with dissolution of carbonates may explain the high mineralization of thermal waters equally well. This is a consequence of similar $\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C values in endogenous CO_2 and carbonates (both C sources have ^{14}C activity 0 pmc, endogenous CO_2 has $\delta^{13}\text{C}$ around -3 ‰, carbonates in the range from -4 to + 3 ‰ V-PDB). The source of Cl^- seems to be relict brine formed in Tertiary lakes, which infiltrated into the deep rift zone and is continuously being flushed out. The difference in water chemistry between high and low mineralization ground waters in Ústí nad Labem is caused by position of the high TDS ground water wells in endogenous CO_2 emanation centers linked to channel-like conduits. This results in high dissolution rates of minerals and in different $\delta^{13}\text{C}(\text{DIC})$ and $^{14}\text{C}(\text{DIC})$ fingerprints. A combined $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$ and $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$ study of dissolved sulfate indicate multiple sulfate sources, including sulfate from relict brines and oxidation of H_2S . The study clearly demonstrates potential problems of ^{14}C dating encountered at sites where multiple sources of carbon are present. In such cases several evolutionary ground water scenarios and ages are possible.

Dupalová T., Sracek O., Vencelides Z., Žák K., 2012. The origin of thermal waters in the northeastern part of the Eger Rift, Czech Republic, Applied Geochemistry, 27, 3, 689-702.

Standortspezifische Arzneimittelbelastungssituation des Grundwassers im Ruhrtal

ANDRE BANNING¹, FRANK WISOTZKY¹, STEFAN WOHLNICH¹

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: andre.banning@rub.de

Das anthropogen bedingte Vorkommen von Arzneimitteln und Arzneimittelrückständen in Oberflächen- und Grundwasser ist in jüngerer Vergangenheit verstärkt in den Fokus von Wissenschaft und Öffentlichkeit gerückt. Die EU wird erstmalig Vertreter dieser Gruppe in ihre Liste prioritärer Stoffe aufnehmen. Dies geht mit der Einführung von Grenzwerten und damit einer verstärkten Belastung der Wasserversorgungsunternehmen einher, die zusätzliche Aufwendungen für Trinkwasserqualitätskontrolle und -monitoring zu erwarten haben. Hinzu kommen möglicherweise benötigte zusätzliche Reinigungsstufen in der Wasseraufbereitung, da sich einige Pharmazeutika nicht oder nur teilweise durch konventionelle Aufbereitung wie Langsandsandfiltration entfernen lassen.

Die beschriebene Problematik wird insbesondere für das Ruhrgebiet relevant, was neben einem hohen Eintrag von Arzneimitteln aufgrund der Bevölkerungsdichte vor allem durch den großen Anteil der aus Oberflächenwasser (Uferfiltrat und künstliche Grundwasseranreicherung) gespeisten Trinkwasserversorgung zu begründen ist. So liegt der Anteil der Oberflächenwassernutzung in NRW insgesamt bei ca. 55 % (MUNLV NRW 2009), und ist im Bereich des südlichen Ruhrgebietes, mit der Ruhr als Hauptwasserlieferant, nochmals deutlich höher. Für den Prozess der Uferfiltration sind allgemein sehr variable, stark stoff- und standortspezifische Entfernungseffizienzen bezüglich trinkwasserrelevanter Arzneimittel dokumentiert (Scheytt et al. 2006, Maeng et al. 2011, Huntscha et al. 2013). Im Einzugsgebiet der Ruhr existiert ein Arzneimittel-Monitoringprogramm für das Oberflächenwasser, welches signifikante und flussabwärts zunehmende Gehalte an Humanpharmaka, Antibiotika und Röntgenkontrastmitteln belegt (Skark 2011). Hingegen fehlen weitgehend Informationen zu standortspezifischen Belastungssituationen und der Entfernungseffizienz von Uferfiltration und künstlicher Grundwasseranreicherung für die zahlreichen Wasserwerke entlang der Ruhr.

Ziel des Projektes ist es, letztgenannte Daten- und Erkenntnislücken zu schließen. Nach erfolgreicher Etablierung der Analytik soll für verschiedene Wasserwerksstandorte im Ruhr-Einzugsgebiet der Status Quo hinsichtlich der Belastungssituation mit trinkwasserrelevanten Arzneimitteln untersucht werden. Dabei handelt es sich v.a. um Substanzen wie die Schmerzmittelwirkstoffe Diclofenac und Ibuprofen, das Antirheumatikum Carbamazepin und Östrogen-Hormone. Somit entsteht ein standortspezifisches Bild des Ist-Zustandes, das sich mit dem vorgegebenen Soll-Zustand abgleichen lässt. Der Einfluss der physiko-chemischen Bedingungen auf das Verhalten der Zielstoffe soll charakterisiert und relevante hydrogeochemische Prozesse (Transport, Sorption, Abbau) abgeleitet werden. Die Untersuchungen sollen schließlich in einer Einschätzung der Entfernungseffizienz von Uferfiltration/Grundwasseranreicherung, und eines eventuell bestehenden Handlungsbedarfs der Trinkwasseraufbereitung im Ruhrgebiet münden.

Huntscha, S. et al. (2013): Degradation of polar organic micropollutants during riverbank filtration: complementary results from spatiotemporal sampling and Push–Pull tests. – Environ. Sci. Technol., DOI: 10.1021/es401802z.

Maeng, S.K. et al. (2011): Occurrence and fate of bulk organic matter and pharmaceutically active compounds in managed aquifer recharge: A review. – *Water Res.*, 45: 3015-3033.

MUNLV NRW [Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2009): Trinkwasserbericht Nordrhein-Westfalen. – 55 S., Düsseldorf.

Scheytt, T.J. et al. (2006): Mobility of pharmaceuticals carbamazepine, diclofenac, ibuprofen, and propylphenazone in miscible-displacement experiments. – *J. Contam. Hydrol.*, 83: 53-69.

Skark, C. (2011): Monitoring von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen in der Ruhr. – UBA-Workshop Monitoring von Arzneimitteln in der Umwelt, Dessau.

P 12.2

Risikofolgenabschätzung für Erneuerbare-Energien-Anlagen auf Grundwasservorkommen – Best-Practice- und Worst-Case-Beispiele in bayerischen Wasserschutzgebieten

JESSICA HÖVELBORN¹, MARKUS RAUH¹

¹ **Verband der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e.V.**

Kontakt: j.hoevelborn@vbew.de

Die Energiewende stellt eine weitere konkurrierende Nutzung der Ressourcen Boden und Grundwasser dar. Der Ausbau erneuerbarer Energien trifft insbesondere die Trinkwasserversorgung mit teilweise großräumigen Schutzgebieten abseits der Ballungsräume, die potenziell als Standorte für EEG-Anlagen in Frage kommen. Grundlage für ein Miteinander ist das Erkennen und proaktive Vermeiden von kurz-, mittel- und langfristigen Risiken. Die Wasserversorger haben hierin langjährige Erfahrung, nicht nur im Bereich EEG-Anlagen.

Im Freistaat Bayern werden ca. 90 Prozent des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser gewonnen, das überwiegend naturbelassen an die Kunden abgegeben werden kann. Da nur rund fünf Prozent der Landesfläche als Wasserschutzgebiete ausgewiesen sind, in denen mit der Wasserschutzgebietsverordnung besondere Bestimmungen zum Schutz der Trinkwassergewinnungsgebiete gelten, tragen die bayerischen Wasserversorger mit individuellen Maßnahmen zum Schutz der Grundwassereinzugsgebiete bei.

Im Zuge der Energiewende und des damit einhergehenden Umbaus der Energieerzeugung hin zu erneuerbaren Energien wird die Inanspruchnahme von Flächen stark zunehmen. Dabei können in unterschiedlicher Intensität Gefährdungen beim Bau und Betrieb von Photovoltaik-, Biogas-, Windkraft- und Geothermieanlagen für das Grundwasser ausgehen. Unsichtbare Gefahren bergen beispielsweise Leckagen in Biogasanlagen, die Offenlegung von Erdschichten beim Bau von Fundamenten sowie Tiefenbohrungen. Auch ein verstärkter Energiepflanzenanbau und Monokulturen können durch die Düngungsintensivierung die Auswaschungsfahr von Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückständen in das Grundwasser erhöhen. Auch bei Bohrungen zur Schiefergasförderung und Geothermie oder bei der unterirdischen Speicherung von Kohlendioxid (CCS) sind Auswirkungen auf das Grundwasser zu berücksichtigen.

Aktuelle Beispiele in Bayern zeigen die Notwendigkeit zur vorausschauenden Identifikation von Gefährdungsszenarien und dass für bauliche Anlagen in Wasserschutzgebieten hohe Ansprüche an die technische Ausführung einzuhalten sind.

Wasserwirtschaftlichen Gefährdungspotenzialen kann vorgebeugt werden, indem zum Schutz der

Trinkwasservorkommen der grundwasserschonenden Bewirtschaftung und dem vorsorgenden Gewässerschutz auch in Zukunft weiterhin ein sehr hoher Stellenwert beigemessen wird – damit auch in Zukunft im Freistaat im wörtlichen Sinne Trink-Wasser aus der Leitung kommt, das überwiegend naturbelassen ist.

Verband der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hg.): Wasser für Bayern, München 2012

P 12.3

Evaluation and comparison of transverse dispersivity collected from experiments and field tests

LIU CHANG¹, FALK HÄNDEL¹, PRABHAS YADAV², MARTIN BINDER¹, RUDOLF LIEDL¹, PETER DIETRICH³

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden, Bergstraße 66, 01069 Dresden

² School of Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, Sharda University, Greater Noida, India

³ Department Monitoring und Erkundungstechnologien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Kontakt: falk.haendel@ufz.de

Groundwater pollution remains a world-wide problem. In this context, pre-assessment of the spatial extents of a contaminated plume is crucial for any treatment to ensure the safety of biospheres and humanity. The fate and behavior of contaminants strongly depend on mixing which is affected by transverse dispersion. In this case, knowledge of transverse dispersivity is critically needed. Some experiments and field tests were analyzed from the literature in order to get the value of transverse dispersivity. The objective of this study is to compile and evaluate these data of transverse dispersivity and relate different values of transverse dispersivity to hydrogeologic parameters. 12 parameters have been included in the study, and they are divided into 7 groups according to their properties. Comprehensive literature review for searching data of transverse dispersivity has been done. Further, data analysis has been made to find out the influential factors which can affect the values of transverse dispersivity. Eventually, we evaluated combined effects of factors such as grain size and velocity of flow possibly impacting transverse dispersivity.

P 12.4

Sulfatbelastung im Boden und Grundwasser der Emscherregion als Folge von Pyritoxidationsprozessen im Emschermergel

BJÖRN DROSTE¹, FRANK WISOTZKY¹

¹ Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum

Kontakt: bjoern.droste@rub.de

Im Zuge der Emscherrenaturierung wird in einer Tiefe von ca. 8 bis 40 m unter GOK ein parallel zur Emscher verlaufender Abwasserkanal mit einer Gesamtlänge von 73 km errichtet, der das klärflichtige Schmutz- und Niederschlagswasser aufnimmt. Durch alle im Zuge des Emscherumbaus anfallenden Baumaßnahmen werden geschätzte 8 bis 10 Mio m³ mineralischen Aushubs anfallen (MUNLV- Piegsa et. al., 2005). Der Aushub entstammt dem oberen Bereich der

quartären Ablagerungen der Emscher und wird zeitweise durch Auffüllung anthropogenen Ursprungs ersetzt.

In größerer Teufe fallen insbesondere durch den maschinellen Kanalvortrieb sowie durch Aushub tieferer Schachtbauwerke große Mengen an Emschermergel an. Bei den 1,5 Mio m³ Emschermergel handelt es sich nach DIN 4030-1 (2008) um ein pyrithaltiges Karbonatgestein. Die Oxidation von Pyrit führt letztendlich zu einer Bildung von Eisenhydroxid und Schwefelsäure, sodass saure, zumindest sulfathaltige Wässer („acid mine drainage“) entstehen können.

Insgesamt 160 geeignete Proben wurden im gesamten Emschergebiet entlang der geplanten Kanaltrasse im Zuge der Bautätigkeiten in Form von Bohrkernen, Aushubmaterial aus Ausschachtungen und anderen geeigneten Aufschlüssen gewonnen. Durch umfangreiche Laborversuche wie Kohlenstoff-Schwefel-Messungen, Expositions-, Säulen- und S4-Versuche, konnte unter einem geogenen Verwitterungshorizont mit geringen Pyrit-Gehalten ein tiefenunabhängiger Pyritgehalt nachgewiesen werden. Bei Auslagerungsversuchen mit vollständigem Sauerstoffkontakt wurde in den Emschermergelproben eine vergleichbar hohe Pyritoxidationsgeschwindigkeit wie in pyrithaltigen Braunkohlennebangesteinen (Wisotzky, 1994b) bei vollständigem Sauerstoffkontakt gemessen. Folge davon sind Sulfatfreisetzungen in relevanten Gehalten. Eine gezielte Vermeidung von Pyritoxidationsprozessen oder Verminderung deren Auswirkungen wie beispielsweise im niederrheinischen Braunkohlerevier, wo große Kalkmengen die Säurefreisetzung wirkungsvoll unterbinden, ist beim Emschermergel aufgrund der hohen geogenen Kalkgehalte und der damit verbundenen vollständigen Säureneutralisation nicht notwendig. Dies konnte durch Laborversuche und intensive hydrochemische Modellrechnungen bestätigt werden.

P 12.5

Interpolationen hydrochemischer Parameter: Tests zur Anwendung von 3D-Variogrammetrie

WOLFGANG GOSSEL¹, RONNY LÄHNE¹, PETER WYCISK¹

¹ Fachgebiet Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle

Kontakt: wolfgang.gossel@geo.uni-halle.de

Die 3D Interpolation mit geostatistischen Methoden steht immer wieder vor der Frage, wie die Variogrammetrie gelöst werden kann. Hierfür wurden in der Vergangenheit mehrere Methoden entwickelt, die auf der Erstellung direktonaler Variogramme beruhen (Remy 2011). Auch die Erstellung omnidirektionaler Variogramme unter Berücksichtigung der erhöhten vertikalen Heterogenität durch einen Überhöhungsfaktor wurde bereits umgesetzt. Eine weitere Lösung findet sich in Gossel (2012), die eine Interpolation der vertikalen Information vor der Variogrammetrie horizontaler numerischer Schichten vorsieht.

Die Lokation Bitterfeld wurde sowohl über ein ausführliches hydrochemisches Monitoring als auch durch ein numerisches Grundwasserströmungs- und -transportmodell sehr gut untersucht. Aus Letzterem wurde ein Beispieldatensatz erzeugt, der zum Test der verschiedenen Variogrammetrie-Ansätze dient.

Die Variogrammetrie mit diesen Methoden ergibt sich deutlich unterscheidende Ergebnisse, die zum Verständnis der Datenbasis und der Heterogenitätsparameter beitragen. Alle hier

vorgestellten Varianten sind deutlich informativer als eine simple und automatisierte best-fit-Anpassung eines vorgegebenen Variogrammodells an ein für eine einzelne horizontale Schicht berechnetes experimentelles Variogramm.

Remy, N. (2014): Applied Geostatistics with SGeMS: A User's Guide.- Cambridge University Press, 264 S, Cambridge.

Gossel (2012): InVis.- <http://umweltgeologie.geologie.uni-halle.de/downloads/>

P 12.6

Review of groundwater resources in the Czech Republic

RENATA KADLECOVA¹, JIRI BRUTHANS¹, PETR MIXA¹, MIROSLAV OLMER¹

¹ Czech Geological Survey

Kontakt: renata.kadlecova@geology.cz

Assessment of groundwater resources was an integral part of the regional hydrogeological survey of Czechoslovakia and later the Czech Republic performed in the period 1966–1990. Meanwhile, methods of investigation and conditions of groundwater recharge have changed. Therefore, the former values of groundwater resources are now older than 20–30 years and their actual relevance is problematic.

In July 2010, the Czech Geological Survey has initiated a project aimed to reassess groundwater resources (both quantity and quality) in most important aquifers in the Czech Republic, situated in Bohemian Cretaceous Basin, Trebon Basin and Cenozoic fluvial deposits. Aquifers boundaries have been refined using borehole geophysical logs and revaluation of borehole database. Conceptual models of 56 hydrogeological areas have been updated. At present hydrological and hydraulic modeling takes place. Chemical and isotopic study of groundwater is performed to obtain information about mean residence time of groundwater and quantitative status of the groundwater bodies according the European Water Framework Directive.

Based on environmental tracers the discharge from shallow aquifers predominantly contains water infiltrated within last 60 years. Aquifers in Bohemian Cretaceous Basin often contain two types of groundwater based on environmental tracers: 1) Groundwater in stagnant and low-flow zones with low tritium activity, missing nitrates and anoxic conditions and 2) Groundwater in interconnected fracture systems with high tritium activity, nitrate content and oxic conditions. The former type is encountered by many monitoring wells, while the latter is dominating in discharge and water used for water supply.

Next task is to develop the methodological steps for the future periodical updating of groundwater resources.

The project is funded from three sources: European Regional Development Fund, the State Environmental Fund of the Czech Republic and the Ministry of the Environment of the Czech Republic in terms of the Operational Program Environment.

Prozessorientierte Untersuchung zum Nitratabbauvermögen der Grundwasserkörper im Hessischen Ried als Grundlage für die Umsetzung von Maßnahmenprogrammen in der Wasserrahmenrichtlinie

CHRISTOPH KLUDT¹, FRANK-ANDREAS WEBER², AXEL BERGMANN², KAY KNÖLLER³, CHRISTOPH SCHÜTH¹

¹ Technische Universität Darmstadt Institut für Angewandte Geowissenschaften

² IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

³ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung- UFZ Department Catchment Hydrology

Kontakt: c.kludt@iww-online.de

Das Hessische Ried wird, neben dessen intensiver landwirtschaftlicher Nutzung, zur Trinkwassergewinnung für die Metropolregion Rhein-Main genutzt. Die Auswaschung von Stickstoffhaltigen Düngemitteln hat in den vergangenen Jahrzehnten gebietsweise zu hohen Nitratkonzentrationen im Grundwasser geführt.

Mikrobiologische Abbauprozesse leisten einen maßgeblichen Beitrag zur Minderung der Nitratbelastung. Dabei ist entscheidend, dass der Nitratabbau unter anoxischen Bedingungen mit dem Verbrauch von hauptsächlich zwei Reduktionsmitteln einhergeht: zum einen heterotroph mit leicht abbaubaren organischen Kohlenstoff (TOC) und zum anderen autolithotroph durch Eisensulfid/-disulfide wie Pyrit (FeS_2) (Postma et al. 1991, Wisotzky et al. 2011). In letzter Zeit verdichten sich Anzeichen, dass in manchen Gebieten diese oft nur in Spuren vorhandenen reaktiven Phasen soweit aufgebraucht sind, dass sich der Nitratabbau im Grundwasserleiter verlangsamt bzw. ganz zum Erliegen kommt (DVGW 2013).

Um gezielt Maßnahmen zur Minimierung der Nitratbelastung umzusetzen, werden im Rahmen dieser Arbeit die im Grundwasserkörper ablaufenden Prozesse und das verfügbare Abbaupotenzial untersucht. Dabei wurde in Feldmesskampagnen mit tiefenorientierter Probenahme und Multiparametersondenmessungen (Eh, pH, LF, O_2 und NO_3^-) anhand der Redoxzonierung eine kleinräumig heterogene Verteilung des Nitratabbaus im Hessischen Ried festgestellt. Durch N_2/Ar -Beprobung von 8 Messstellen konnte nachgewiesen werden, dass von dem eingetragenen Nitrat (2-270 mg/l) ein Anteil von 2 bis 100 % auf dem Fließpfad abgebaut wurde. Die Verteilung der reaktiven Phasen Eisensulfid/-disulfid und TOC in den Sedimenten wurde an Proben von zwei Kernbohrungen bis 60 m u. GOK mit CRS (chromreduzierbarer Schwefel), Röntgenfluoreszenz (RFA), TOC/TIC-Analysen sowie REM-Messungen untersucht. Im ersten Bohrkern wurden signifikante S-Sulfid Gehalte von bis zu 123 mg-S/kg sowie ein lokaler Abbauhorizont mit hohen TOC- und Sulfidgehalten festgestellt. Im zweiten Bohrkern konnten nur vergleichsweise geringe TOC- und Sulfidgehalte < 18 mg-S/kg gemessen werden. Die Proben des ersten Bohrkerns zeigten auch in Batchversuchen die höchsten Abbauraten, wogegen die Sedimente des zweiten Bohrkerns keinen messbaren Nitratabbau über 90 Tage zeigten.

Die messbare Veränderung der Verhältnisse stabiler Isotope ($\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{15}\text{N}$) während der Abbauprozesse (Knöller et al. 2011) wurde genutzt, um sowohl in Grundwasserproben als auch in Batch-Laborversuchen die Nitratabbauprozesse zu untersuchen. Dabei deuten die Ergebnisse in der ersten Batchversuchsreihe auf eine Dominanz des autolithotrophen Abbaus im lokalen Abbauhorizont unter Verbrauch von Eisensulfid hin. Durch den Vergleich dieser Daten mit

Messwerten von ausgewählten Grundwassermessstellen können die dominanten Abbauprozesse im Hessischen Ried identifiziert werden.

DVGW (2013): Konsequenzen nachlassenden Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern – Abschlussbericht. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben W1/06/08.

Knöller, K., C. Vogt, M. Haupt, S. Feisthauer, H.-H. Richnow (2011): Experimental investigation of nitrogen and oxygen isotope fractionation in nitrate and nitrite during denitrification. - Biogeochemistry, 103(1-3): 371-384.

Postma, D., C. Boesen, H. Kristiansen, F. Larsen (1991): Nitrate Reduction in an Unconfined Sandy Aquifer - Water Chemistry, Reduction Processes, and Geochemical Modeling. - Water Resources Research, 27: 2027-2045.

Wisotzky, F., M. Leson, et al. (2011): Nitratabbaukapazität im Grundwasserleiter der Halterner Sande. - bbr, 06/2011: 46-52.

P 12.8

Einfluss klimatischer Extreme auf die Begutachtung von Altlaststandorten

PHILLIP GRIMM¹, DIANA HENNIGER², STEFAN PEIFFER³

¹ Geoökologie UBT

² PIEWAK & PARTNER, Bayreuth

³ Lehrstuhl für Hydrologie, Universität Bayreuth

Kontakt: dmimd@gmx.net

Bei der Begutachtung von Altlaststandorten werden eine Reihe technischer Maßnahmen ergriffen, um das lokal vorherrschende Grundwassersystem, dessen Fließverhalten im Untergrund und den damit verbundenen Stofftransport zu beschreiben. Typischerweise werden hierfür Pumpversuche durchgeführt, um die geohydraulischen Parameter zu bestimmen, welche zur Berechnung der Brunnenreichweite und der Schadstofffracht dienen. Des Weiteren werden Sickerwassermessstellen errichtet und Feststoffproben entnommen, um die Schadstofffreisetzung im Deponiekörper zu ermitteln, sowie das Rückhalte – und Abbauvermögen der Auffüllung zu beurteilen.

In diesem Beitrag soll der Frage nachgegangen werden, welche Konsequenzen sich für die entsprechenden Untersuchungen ergeben, wenn es im Untersuchungszeitraum auf Grund langanhaltender Trockenperioden zu Niedrigwasserständen im Einzugsgebiet und somit zu drastischen Absenkungen des Grundwassers in den Messstellen kommt. Dadurch ergeben sich unmittelbar Konsequenzen für Pumpzeiten, Emissionsabschätzung, Transportbetrachtung, die Ermittlung potentieller Fließwege und insgesamt für die Repräsentativität der Aussage für die Folgejahre.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Hydrologie in Bayreuth, setzt man sich im Frühjahr 2014, bei der Durchführung einer Sanierungsuntersuchung am Rande des Frankenwaldes mit dieser Problematik auseinander. Jene Altablagerung wurde an einem ehemals landwirtschaftlich genutzten Hang im Zeitraum von 1962 – 1976 mit gemischten Siedlungsabfällen und Bauschutt verfüllt und befindet sich in der ungesättigten Zone. Die Altablagerung grenzt randlich an eine Trinkwasserschutzzone II an und beinhaltet eluierbares Schadstoffinventar,

welches die Hilfwerte für PAK im Feststoff überschreiten. Somit kann eine Kontamination des Grundwassers, ohne umfangreiche Untersuchungen der geohydraulischen Leitfähigkeit des Festgesteins (Muscovit – Biotit - Gneis) nicht ausgeschlossen werden.

P 12.9

Hydrogeologische und hydrochemische Charakterisierung des Einzugsgebietes Münstersche Aa (NRW)

DEBORA REINKE¹, KAI SCHRÖDER¹, PATRICIA GÖBEL¹, CHRISTINE ACHTEN¹

¹ Angewandte Geologie, Universität Münster

Kontakt: pgoebel@uni-muenster.de

Die hydrochemischen Verhältnisse der Oberflächengewässer und Grundwässer werden durch punktuelle und diffuse Stoffeinträge und -ströme im Einzugsgebiet (EZG) eines Oberflächengewässers beeinflusst. Aufgrund unterschiedlicher Wechselbeziehungen zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser ändern sich die hydrochemischen Bedingungen. Dieser Prozess ist abhängig von der Nutzung des Gebietes und den hydrogeologischen Bedingungen im Untergrund. Um langfristig einen guten Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers zu erreichen, ist es notwendig, die Stoffströme und deren beeinflussende Prozesse auf der Maßstabsebene des EZG zu verstehen.

Die Münstersche Aa durchfließt über eine Strecke von 43 km das zentrale Münsterland (NRW) und die Stadt Münster. Das EZG der Münsterschen Aa hat eine Größe von 172 km² und ist durch intensive landwirtschaftliche (75 % der EZG-Fläche) und urbane Nutzung (25 % der EZG-Fläche) gekennzeichnet. Sehr starke niederschlagsbedingte Abflussschwankungen im Anstrom von Münster deuten auf schlecht wasserdurchlässigen Untergrund der eiszeitlichen Ablagerungen hin. Abstromig von Münster ist das EZG durch sandige und damit wasserdurchlässigere Schichten gekennzeichnet. Bis heute ist wenig über die hydrogeochemische Situation auf der Maßstabsebene des EZG und über die Stoffströme von den Quellen in den Baumbergen bis zur Mündung der Münsterschen Aa in die Ems bekannt.

Das Ziel der Studie ist zunächst eine Bestandsaufnahme der geologischen, hydrogeologischen und hydrochemischen Situation des EZG auf der Basis aller verfügbaren veröffentlichten und unveröffentlichten Daten. Es wurde ein geologisches-hydrogeologisches Konzeptmodell erstellt und mittels umfangreicher Sammlung von Daten zu den Oberflächengewässern und zum Grundwasser sowie weiteren eigenen Untersuchungen verfeinert. Die Daten werden in einem GIS-System verwaltet.

Zusätzlich zu den anorganischen Analysen wurden organische Spurenstoffe, wie Pestizide und Biozide sowie Arzneimittel im Oberflächenwasser und Grundwasser analysiert. Die Ergebnisse zeigen unterschiedliche organische und anorganische anthropogene Stoffeinträge, die durch die starke landwirtschaftliche Nutzung, den siedlungsbeeinflussten Oberflächenabfluss und zentrale (sowie dezentrale) Kläranlagenab- und -überläufe mit zeitweise lokal deutlich erhöhten Konzentrationen begründet sind.

Für einen verbesserten Wissensstand über das Fließregime im Grundwasserkörper des Münsterländer Kiessandzuges und dessen möglichen Kontakt zu den unterlagernden Kreideschichten entsteht derzeit ein numerisches Grundwasserströmungsmodell für den urbanen

Raum der Stadt Münster (siehe Poster Schröder et al.). Dies ist u.a. von Bedeutung, da der Kiessandzug in Münster zur Trinkwassergewinnung genutzt wird. Darüber hinaus sind detaillierte Kenntnisse für die geplante Renaturierung der künstlich gefassten Münsterschen Aa im Stadtgebiet erforderlich.

P 12.10

Quantification of the reduced sulfur inventory in an unconsolidated tertiary aquifer

PETER RUDER¹, RUIWEN YAN¹, MARTIN BACK², JÖRG GÖTTLICHER³, STEFAN PEIFFER⁴

¹ Lehrstuhl Hydrologie, Uni Bayreuth

² RWE Power

³ ANKA, KIT

⁴ Hydrologie, Uni Bayreuth

Kontakt: ruder.peter@gmail.com

Denitrification coupled to pyrite oxidation has been observed in many groundwater aquifers, although a direct reaction between nitrate and pyrite could not be detected (Joergensen et al, 2009, Schippers & Joergensen, 2001). Our understanding of the mechanisms of this redox process is, however, still limited. Recent work has demonstrated that not crystalline pyrite but elemental sulfur is being used by *thiobacillus denitrificans* for denitrification (Yan, 2014, doctoral Thesis, University of Bayreuth, in prep.), which conflicts with earlier findings by Bosch et al (2012). Hence, the question arises as to whether elemental sulfur (or another non-crystalline fraction of pyrite sulphur) occurs in aquifers.

To these ends we have sampled sedimentary material obtained from a boring at the forefield of the brown-coal surface mine Hambach near Cologne/Bergheim (Indener Schichten, Erftscholle, 12 samples from 249-260 m below ground and 3 samples from 291-293 m below ground) .

Sediments were chemically analyzed for TRIS (Total reduced inorganic sulphur) and elemental sulphur (S⁰) as being extractable with Cyclohexane. [UB1] In addition, two samples were analyzed with sulphur XANES at the ANKA synchrotron.

This poster will display the results from this study.

[UB1]War es methanol oder Petrolether? Es ist Cyclohexan.

Bosch, J., Lee, K.Y., Jordan, G., Kim, K.-W. & Meckenstock, R. (2012) Anaerobic, nitrate-dependent oxidation of pyrite nanoparticles by thiobacillus denitrificans. Environmental Science & Technology 46, 2095-2101

Joergensen C. J., Jacobsen O. S.; Elberling B.; Aamand J. (2009) Environmental Science & Technology 43(13): 4851-4857.

Schippers A. & Joergensen B. B. (2001) Geochimica Et Cosmochimica Acta 65(6): 915-922.

Yan, R. (2014), Oxidation of reduced sulphur by denitrifying bacteria, PhD thesis, University of Bayreuth, in preparation.

Reactivity of nanoscale zero-valent iron particles used for in situ groundwater remediation

DORIS SCHMID¹, S. LAUMANN¹, S. WAGNER¹, T. HOFMANN¹

¹ Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien

Kontakt: d.schmid@univie.ac.at

Nanoscale zero-valent iron particles have a high potential for transformation or degradation of common groundwater and wastewater contaminants such as chlorinated solvents, metals, and pharmaceuticals [1, 2, 3, 4]. Deploying nZVI for *in situ* groundwater remediation might offer an alternative to conventionally used *ex situ* techniques like, e.g., pump-and-treat. The effectiveness of the nZVI-based remediation technique strongly depends on the reactivity and longevity of nZVI particles. The aim of this study is to determine the effect of I) various hydrochemical conditions (e.g., high carbonate content and Ca-Mg rich water) and II) the type of porous media on the reactivity of three commercially available nZVI particles. Reactivity was determined in batch and column experiments using iopromide, an X-ray contrast agent, as a model compound to study the dehalogenation process with nZVI.

The investigated nZVI particles included non-coated nZVI (Nanofer 25), polyelectrolyte-coated nZVI (Nanofer 25S), both in aqueous suspension, and air-stable nZVI powder (Nanofer Star) (NANOIRON s.r.o., Czech Republic).

The reaction order and reaction rate constants were derived from batch and column experiments. Two different water types were deployed in batch and column tests (a) pH 7 buffered water with 50 mM HEPES and (b) Ca-Mg-HCO₃-rich water at pH 8.6. Column tests were used to simulate dehalogenation in porous quartz and carbonate sand. All experiments were carried out under anoxic conditions. Pore water velocities during column tests were adjusted to ~1.5 and 8.5 m d⁻¹.

Batch tests showed that all types of nZVI tested were able to fully degrade iopromide under the applied conditions. The reaction kinetics can be described by a pseudo-first order model. The surface area normalized first order reaction rate constant (k_{SA}) of the different nZVI particles ranged between $8.94 \cdot 10^{-1}$ and $1.14 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for the pH 7 buffered water. Reaction rate constants were highest for Nanofer 25 followed by Nanofer 25S and Nanofer Star. For the Ca-Mg-HCO₃-rich water the values for k_{SA} were 3 times lower, reflecting the pH dependency of the reaction.

The amount of zero valent iron and the residence time of iopromide in the column were the crucial factors for the dehalogenation of iopromide. With decreasing residence times of iopromide in the column the conversion of iopromide becomes incomplete. Iopromide was continuously introduced into the column, causing a lower Fe(0) to iopromide ratio and therefore a lower reaction rate compared to the batch tests. In column experiments with quartz sand k_{SA} was $2.6 \cdot 10^{-4} \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for pH 7 buffered water and $5.7 \cdot 10^{-4} \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ for the Ca-Mg-HCO₃-rich water. For carbonate sand and under similar hydrochemical conditions k_{SA} was in the same range. Therefore, no effect of the porous media on the nZVI reactivity could be observed.

Further experiments will be conducted to elucidate the reaction rate limiting step during the dehalogenation of iopromide with nZVI.

- [1] Tratnyek and Johnson (2006): Nano Today 1(2):44-48.
[2] Zhang, W. (2003): J. Nanopart. Res. 5, 323-332.
[3] Zboril et al. (2012): Hazard. Mater. (211-212), 126-130.
[4] Stieber et al. (2011): ES&T 45 (11), 4944-4950.

P 12.12

Gewässerverunreinigungen durch Biogasanlagen

GEORG H.E. WIEBER¹

¹ Angewandte Geologie, Institut für Geowissenschaften

Kontakt: wieber@uni-mainz.de

Im Rahmen der Energiewende werden Biogasanlagen mit Fahrsilos großer Lagerkapazität errichtet. Auf den Lagerflächen werden Energiepflanzen – meist Mais - unter Luftabschluss durch Milchsäuregärung haltbar gemacht. Beim Silieren können bei Trockenmassegehalten unterhalb von 28% Gäräfte mit einem hohen Anteil an organischen Substanzen und Säuren freigesetzt werden (LfL, 2012).

Nachfolgend wird ein Schadensfall im Rheinischen Schiefergebirge dargestellt. Die Biogasanlage befindet sich in Hanglage ca. 40 Höhenmeter oberhalb des Quellbereichs eines kleinen Baches. Geologisch wird der Untergrund aus steil einfallenden, variskisch streichenden unterdevonischen Sedimentgesteinen (Schiefern, Sandsteine, Quarzite) aufgebaut, die von Hangschutt und diluvialen Lehmen mit lokalen Bimsablagerungen überlagert werden. Hydrogeologisch besitzen die Hanglehne und Tonschiefer geringe Durchlässigkeiten. Der Hangschutt und die klüftigen, z.T. vererzten, (quarzitischen) Sandsteine stellen Grundwasserleiter dar.

Die Biogasanlage verfügt über ein Fahrsilo mit einer Basisabdichtung sowie Entwässerungseinrichtungen. 23 Tage nach Beginn der Belegung der Fahrsilos mit Mais wurden erhebliche Kontaminationen im Quellbereich festgestellt. Das Wasser wies einen säuerlichen Geruch nach Gäräfte auf. Gegenüber dem unbelasteten Zustand war die elektrische Leitfähigkeit stark erhöht (bis 135 mS/m) und die Sauerstoffgehalte (< 4 mg/l) einhergehend mit dem Redoxpotential deutlich erniedrigt. Die organische Belastung des Quellwassers betrug bis maximal 2,0 g/l TOC bzw. bis 5,3 g/l CSB. Die pH-Werte änderten sich von neutral in den sauren Bereich (pH 4-5).

Das Schadensszenario lässt sich wie folgt annehmen: Zum Bau des Fahrsilos wurden die gering durchlässigen Deckschichten entfernt und klüftige Sandsteine freigelegt. Die Maissilage war zum Zeitpunkt der Ablagerung zu nass und setzte erhebliche Volumen von Silagesäften frei. Durch diverse Bau- und Konstruktionsmängel (NR-KURIER, 2013) kam es zur ungehinderten Versickerung.

Das Gewässer befand sich ursprünglich in einem guten Zustand (LUWG, 2011). Der Eintrag der organischen Belastung führte zu Sauerstoffmangel, pH-Wert-Erniedrigung (bis < pH 5) und z.T. flächigem Bewuchs mit Abwasserpilzen. Die Gewässergüte musste in die Klasse IV (übermäßig starke Verschmutzung) im gesamten Verlauf des Vorfluters eingestuft werden.

Nach über einem Jahr sind die TOC-Gehalte auf zwischenzeitlich 1,3 mg/l gesunken (Abb. 1). Eine Auswertung auf halblogarithmischem Papier zeigt sich als geeignete Methode zur Prognose der

Schadensentwicklung. Die Vielzahl der erkannten Schadensfälle zeigt, dass die aktuellen Anforderungen nicht ausreichen. Entsprechend dem Multibarrierensystem sollten standardmäßig höhere Anforderungen an Standort, Bau, Planung und Überwachung gestellt werden.

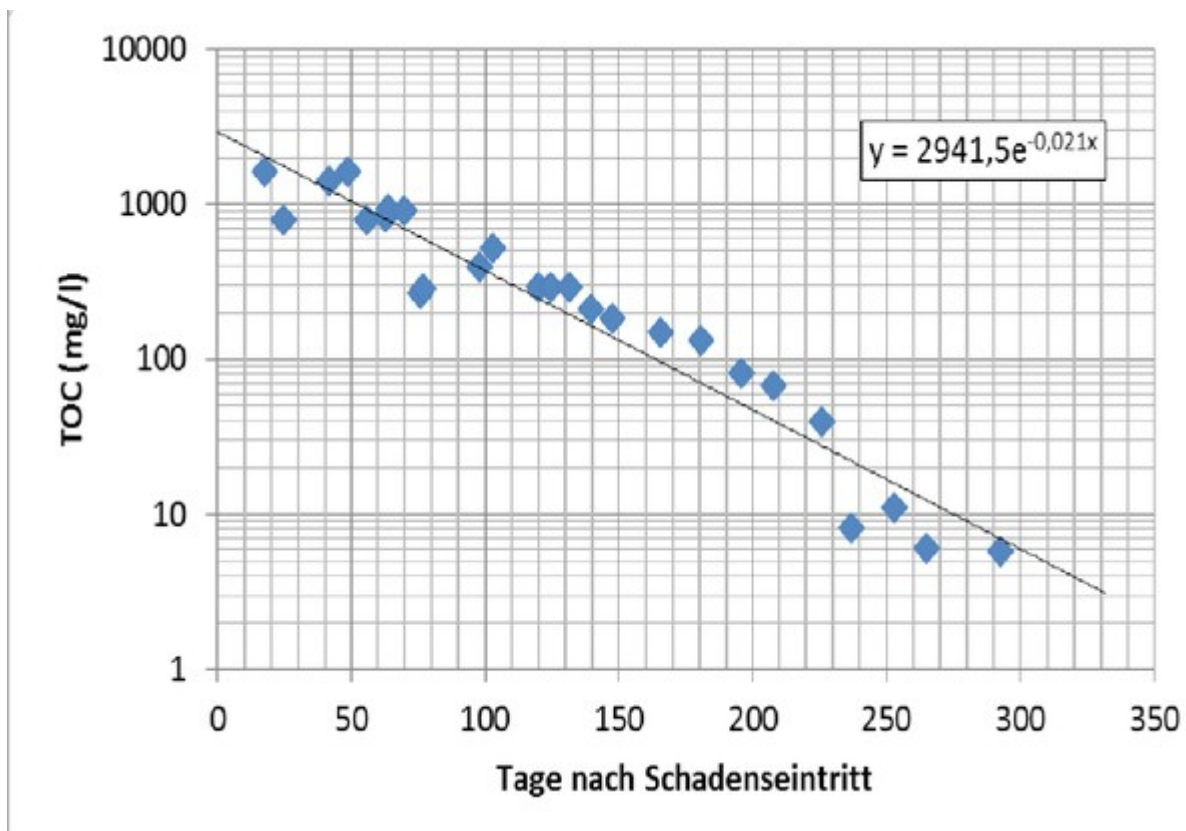


Abb.1: Schadensentwicklung (TOC) am Quellaustritt

HÖLTING, B. & COLDEWEY, W. (2009): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und angewandte Hydrogeologie. – 383 S., Heidelberg.

LfL - BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2012): Silagesickersaft und Gewässerschutz – Anfall und Verwertung von Silagesickersaft aus Futtermitteln und Biomasse für Biogasanlagen. – LfL-Information: 25 S., 4 Abb., 5 Tab., Augsburg.

LUWG - LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT (2011) Gewässerzustandsbericht 2010. – 222 S., Mainz.

NR-Kurier (Ausdruck 31.10.2013): <http://www.nr-kurier.de/artikel/22770-internetseite-der-biogasanlage-anhausen-informiert-ueber-sanierung>.

13 Czech-German exchange on environmental-, soil- and hydro(geo)logical issues

Oral Presentations

O 13.1: H18, NW II, 30.05.2014, 11:00-11:20

Ziel 3/ Cíl 3 – Project 'GRACE' – a project aiming to clarify the phenomenon of declining groundwater levels in two Czech-Saxon boarder regions

ANNA KATHARINA BÖHM¹, FRANK HORNA¹, MATHIAS HÜBSCHMANN¹, OTTOMAR KRENTZ¹, CARSTEN SCHULZ¹, THOMAS VOIGT²

¹ LfULG

² Friedrich-Schiller-Universität Jena

Kontakt: anna-katharina.boehm@smul.sachsen.de

From 2011 till 2014 the Czech-Saxon project 'GRACE' (Groundwater Absence in Cretaceous Sandstone Aquifers) runs at the Saxon State Agency of Environment, Agriculture and Geology (LfULG). The project is funded by the European Regional Development Fund (ERDF). Objective of the project is to find the reasons for decreasing groundwater levels which have been observed in parts of the cretaceous sandstones in Czech and Saxony since the 1980 ties. The investigation areas are situated in the national park 'Sächsische und Böhmisches Schweiz' and in the 'Zittauer Gebirge'.

The main focus of the project lies on creating groundwater flow models in order to understand hydrogeological and hydrological processes and to predict future development of groundwater resources under changing conditions like climate change or human water supply. Therefore it was necessary to create models of geological and hydrogeological structures in Saxon parts of the investigation areas which are completely covered by cretaceous sandstones.

For the two geological models in both investigation areas all available boreholes and its information were used. A main emphasis lay on the correlation of Czech and Saxon sandstone layers in order to create a Saxon structure model which is compatible with already existing Czech geological models. Together with colleagues from the Czech Geological Survey and the Academy of Science a solution for correlation of Czech and Saxon cretaceous formations was found. Finally most of the Saxon boreholes were newly interpreted according to the new correlation and on the base of a partially new mapping of sandstones. Furthermore a correlation of the stratigraphic sandstone units in 'Sächsische Schweiz' and 'Zittauer Gebirge' was proposed for the first time.

In a second step the geological models were used to construct spatial models of hydrogeological structures by 3D-modeling using GEMCOM SURPACTM and Schlumberger Petrel. These models were constructed on a part of the Czech territory too allowing a more easily connection with the Czech data. The parameterisation of aquifers and aquitards/ aquifuges by hydraulic parameters like permeability or porosity as well as the flow modelling itself was done by the Czech colleagues.

The results of flow modelling mainly improved the ideas of subsurface watersheds and showed the impacts of anthropogenous water withdrawals on both dynamic and static groundwater resources.

Voigt, T. et al. (2013): Grundlagen für ein geologisch-tektonisches Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischen Grenzbereich im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht, im

Auftrag des LfULG, Friedrich-Schiller-Universität Jena; 42 S. + Anl.

Kahnt, R. et al. (2014): Entwicklung zweiter 3D-Modelle hydrogeologischer Körper im sächsisch-böhmischen Grenzgebiet im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht, im Auftrag des LfULG, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH; 115 S. + Anl.

O 13.2: H18, NW II, 30.05.2014, 11:20-11:40

d18O and d2H Isotope Ratio Analysis as a Contribution to the Clarification of Groundwater Dynamic in the Czech-German Borderland

DIANA BURGHARDT¹, PATRICIA BAUMANN¹, JOHANNES STOCK¹, LINDA MICHEL¹, THOMAS KRAUSE¹, HANS JÜRGEN HAHN², DIRK MATZKE², ANNA KATHARINA BÖHM³

¹ Institut für Grundwasserwirtschaft, TU Dresden

² Institut für Grundwasserökologie

³ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Kontakt: diana.burghardt@tu-dresden.de

From 2011 until 2014, the German subproject of the EU-object 3 project 'GRACE' (Groundwater Absence in Cretaceous Sandstone Aquifers) is processed at the Saxon State Office for the Environment, Agriculture and Geology. The main objectives of the project are the clarification of groundwater- surface water interactions as well as falling groundwater levels, which have been observed in parts of the Saxon Bohemian Switzerland and the Zittau Mountains since many years.

The Saxon Bohemian Switzerland is characterized by forest and a unique landscape of sandstone rocks, which is designated as a national park in large parts. From a total of four groundwater storeys, the second and third (Turonian aquifers of 38-70 m and 110-140 m thickness) as well as the fourth (a Cenomanian aquifer of 23-65 m thickness) have relevance for water management (GEOS, 2007). In the predominantly forested Zittau Mountains, only the first groundwater storey (a turon aquifer of 125 – 340 m thickness) is used for drinking water supply (GEOS, 1998).

Within the German GRACE subproject, a one-year study of d18O and d2H isotope ratio development in the groundwater from selected springs and groundwater monitoring wells as well as the local precipitation was performed in order to estimate the percentages of precipitation (groundwater recharge) in each spring and groundwater sample as well as their recharge altitudes.

In a first step, annual mean isotope ratios were derived from analyzed isotope signatures by identifying 'outliers' (Fig.1). Thereby, the corrected annual mean values could be used for the calculation of a local isotope altitude effect and as input signals ('ground-water recharge') for a two-component mixing calculation. For each investigation area, the groundwater sample with the lightest isotope ratio was used as second input signal ('deep groundwater').

As a result of the study, the percentage of precipitation (groundwater recharge) was 50 to 70% and less than 20% for the spring and groundwater samples of the Saxon Bohemian Switzerland and Zittau Mountains, respectively. The local isotope precipitation effect for both areas was -0,29 ‰ d18O and -2,2 ‰ d2H per 100 m.

In summary it can be stated that the ground-water of the investigated springs and groundwater monitoring wells was characterized by long residence times, in particular in the Zittau Mountains.

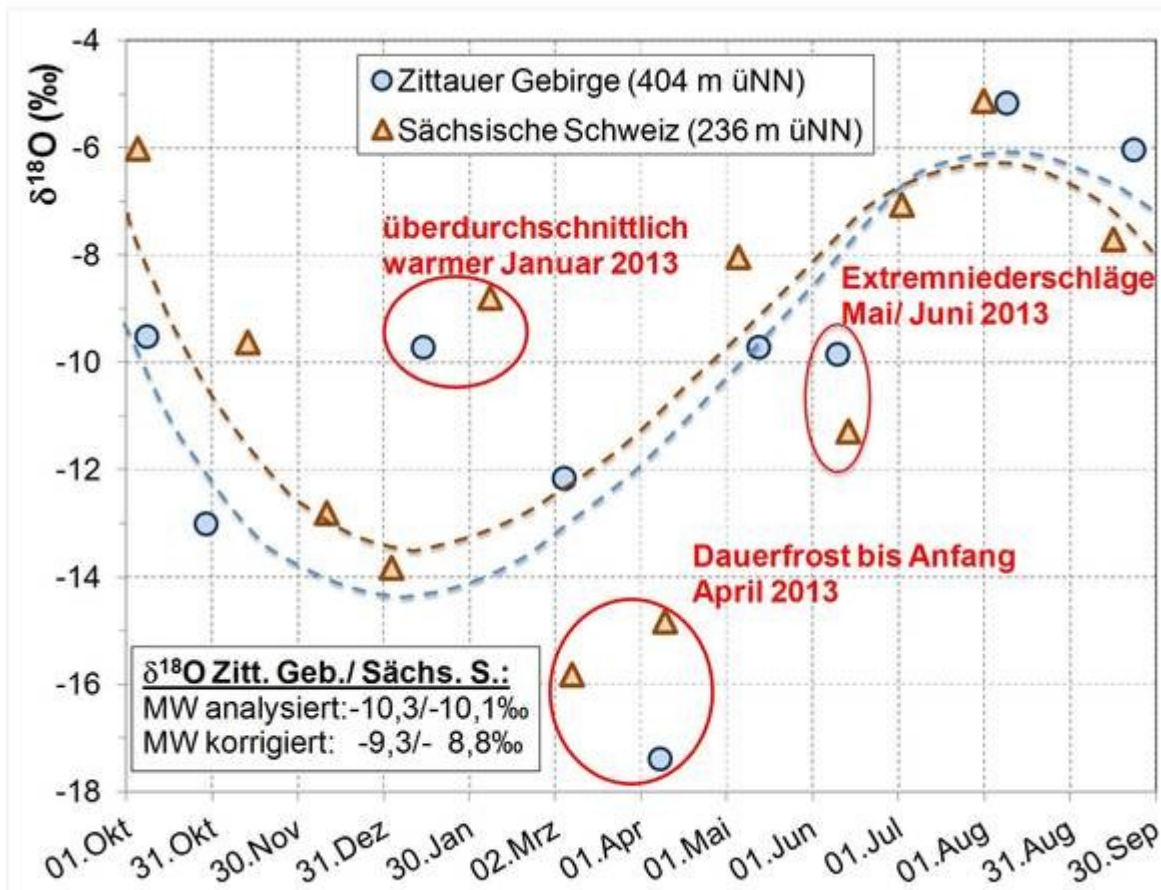


Abb.1: Ermittlung von $\delta^{18}\text{O}$ Jahresmittelwerten für Sächsisch-Böhmische Schweiz und Zittauer Gebirge

GEOS (1998): Übersichtsbeurteilung des Grundwasserdargebotes und dessen Nutzung im Zittauer Gebirge unter Berücksichtigung der Grundwassernutzungen auf tschechischem Gebiet. Auftrag des LfULG

GEOS (2007): Zustandsüberwachung Grenzgrundwasser/ Operatives Messnetz. Gutachten im Auftrag des RP Dresden.

O 13.3: H18, NW II, 30.05.2014, 11:40-12:00

The soil monitoring along the Czech and Bavaria border

PAVEL ČERMÁK¹

¹ Crop Research Institute

Kontakt: pavel.cermak@vurv.cz

Main aim of the Community Initiative programs is to raise socioeconomic level in border zone with regard to commercial, economical, touristic and cultural relations between regions.

Based on very good contacts for a long time and professional experience between Czech and Bavarian partners [i.e. Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture (CISTA), and later Crop Research Institute (CRI) in the Czech Republic and Landesamt für Umwelt (LfU) – (previously Bayerisches Geologisches Landesamt – GLA) in Bavaria] was applied project in frame Community Initiative program INTERREG IIIA. The project named “Risk elements in the soil in relation to the

environment - cross-border base of soil protection - Bavaria – Czech Republic” is focused on the environment protection.

The principle of this project is transplantation and implementation of monitoring grid 8 x 8 km, i.e. 278 monitoring points (before now established in Bavaria in frame GRABEN project) on the Czech territory along the Czech-Bavaria border. Each monitoring point had own identity (geographic-topographic) – by the satellite navigation system – GPS.

This monitoring grid 8 x 8 km has a sequence (from German national coordinate system Transverse Mercator – GK-4, through universal coordinate system World Global Projection System – WGS-84, to Czech S-JTSK national coordinate system) on the European monitoring grid.

On monitoring points the soil pit were made and followed by description of soil profiles and soil sampling, analytical works (determination different soil characteristics – soil texture, content of organic pollutants, heavy metals etc.), bilateral valuation and comparison of achieved results and their interpretation for public (text and cartographic presentations, seminars, web-sites etc.).

This project No. CZ.04.4.82/3.1.00.1/0060 was co-financed from European fund for regional development.

O 13.4: H18, NW II, 30.05.2014, 12:00-12:20

Recent Developments and Activities Related to Groundwater at National Level and Shared Aquifers Between Countries in Middle East and North Africa

*RALF KLINGBEIL*¹, *ROULA MAJDALANI*¹

¹ **Sustainable Development Policies Division (SDPD), United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (UN ESCWA)**

Kontakt: klingbeil@un.org

In the Middle East and North Africa (MENA) water scarcity is one of the prevailing regional characteristics; challenging water and environmental management as well as the overall sustainable socio-economic development at national and regional levels. Today, in many places traditional renewable water resources from surface and groundwater are not anymore sufficient to sustain livelihoods and lifestyles of the people. Government’s attention has often been focused primarily on making “new water” available to fulfill ever increasing water demands through desalination, inter-basin transfers, abstraction of renewable groundwater resources beyond sustainable limits and use of non-renewable groundwater reserves for less valuable socio-economic purposes such as irrigated agriculture as part of past irrational food self-sufficiency ideologies. More efforts can still be made to manage water demand, increase water efficiency in all sectors, manage and protect existing surface and especially groundwater resources more sustainable, improve institutional environments and increase water governance at large.

Among the activities of UN ESCWA to promote sustainable development and an integrated management of natural resources the UN Regional Economic and Social Commission also addresses aspects related to the management and protection of groundwater resources at national and international, bi- or multilateral regional level. The presentation will focus on some groundwater-related areas ESCWA has been addressing lately.

At regional level UN ESCWA together with other partners has been substantively supporting and

servicing the regional efforts by the League of Arab States and their Arab Ministerial Water Council in the process to draft a Legal Framework for Shared Water in the Arab Region, an “Arab Water Convention” that may in its final version provide a framework and guidance for further bi- and multi-lateral cooperation on surface and groundwater resources among Arab States. To improve the knowledge base and facilitate access to information about transboundary surface and groundwater resources ESCWA jointly with the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR) prepared the Inventory of Shared Water Resources in Western Asia; the first UN-led effort to take stock of the region’s shared surface and groundwater resources in a comprehensive, systematic and standardized manner. The Inventory identified a total of 22 shared aquifer systems and 6 shared river basins and provided in over 600 pages detailed information with 60 new maps and over 200 figures, tables and boxes. The project was supported as part of the German Cooperation (Deutsche Zusammenarbeit) funded by the Federal Ministry of Economic Cooperation and Development (BMZ).

Furthermore, at national level UN ESCWA supports its 17 Member States with technical and policy advice. In this context ESCWA has been able to offer assistance and share experiences between the Member States in many areas of sustainable development, environmental, energy and water management. As part of the support ESCWA is addressing also groundwater-related issues such as Managed Aquifer Recharge / Aquifer Storage and Recovery, groundwater governance and groundwater management e.g. in the context of current periods of water scarcity and drought in the Mashreq sub-region, focusing on technical, scientific and governmental / regulatory challenges.

ESCWA supports its Member States to develop capacities supporting sustainable socio-economic development among others in the fields of water resources, energy, food security, environmental policies. ESCWA, based on inter-governmental ministerial session resolutions, coordinates and cooperates with its Member States in the implementation of biannual work plans through inter-governmental committees, works in close cooperation with relevant regional institutions and other UN agencies and responds through technical cooperation and regional advisory services to specific requests from its Member States.

O 13.5: H18, NW II, 30.05.2014, 12:20-12:40

The „International Hydrogeological Map of Europe 1 : 1,500,000“ - Print map and digital dataset provide a continent-wide overview of groundwater conditions

KLAUS DUSCHER¹, GÜNTHER ANDREAS¹, STRUCKMEIER WILHELM¹, RICHTS ANDREA¹

¹ Sub-Department B2.2 - Spatial Data on Groundwater and Soils, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR)

Kontakt: Klaus.Duscher@bgr.de

The map series „International Hydrogeological Map of Europe 1 : 1,500,000“ (IHME1500) has been completed in August 2013. The last two of altogether 25 map sheets D5, Budapest and E5, Bucuresti, were printed. Additionally, a united, seamless digital dataset was published. The IHME1500 gives a long-awaited coherent overview of the groundwater situation in Europe. The new dataset is particularly relevant for projects that require harmonized transboundary information on the hydrogeology of European countries.

Under the auspices of UNESCO, BGR coordinated numerous organizations and over 300

scientists who participated in the project, and was responsible for the cartography and the editorial work on the map series. The first map sheet C5, Bern was already published in 1970. 17 map sheets come with explanatory notes, which provide additional descriptions of the regional conditions with a relevance to hydrogeology.

The IHME1500 concept was developed in conjunction with the preparation of a general legend for international hydrogeological maps (Anonymous, 1970). Six aquifer types, which are distinguished by productivity in terms of groundwater yield and rock consolidation, are mapped in plain colors (Fig. 1). Aquifer lithology is shown as gray ornament overlaying the colored aquifer types.

Stratigraphic acronyms according to the "International Geological Map of Europe 1 : 1,500,000" (IGK1500) were included for selected spatial units to enable an orientation regarding the stratigraphical setting. The distribution of point symbols and line symbols exhibits varying patterns in the map sheets according to the regional occurrence. Whereas for instance groundwater table contours are depicted only in parts of selected map sheets, geological faults are uniformly reproduced throughout the whole map series.

Selected topics of the IHME print maps were digitized. For each theme the 25 map sheets were merged into a spatial dataset in a shapefile format. A polygon theme encompasses the attributes aquifer type, lithology and saltwater intrusion. A line theme depicts geological faults and overthrusts, and a point layer includes the location and type of springs. Substantial delineation offsets and divergent attributions that appear between the printed map sheets were revised in the digital version. The IHME1500 comprises more than 1000 lithological descriptions, which were generalized geometrically and semantically in a documented procedure of seven aggregation steps. These resulted in a ternary lithological classification system. The European regions from the North Cape to the Northern Urals and in the Caucasus, which were not covered by the IHME1500 print maps, are currently worked out to complete the digital dataset, based on available IHME1500 draft map sheets and the IGK1500. Further improvements and updates of the IHME1500 digital version will be published occasionally.

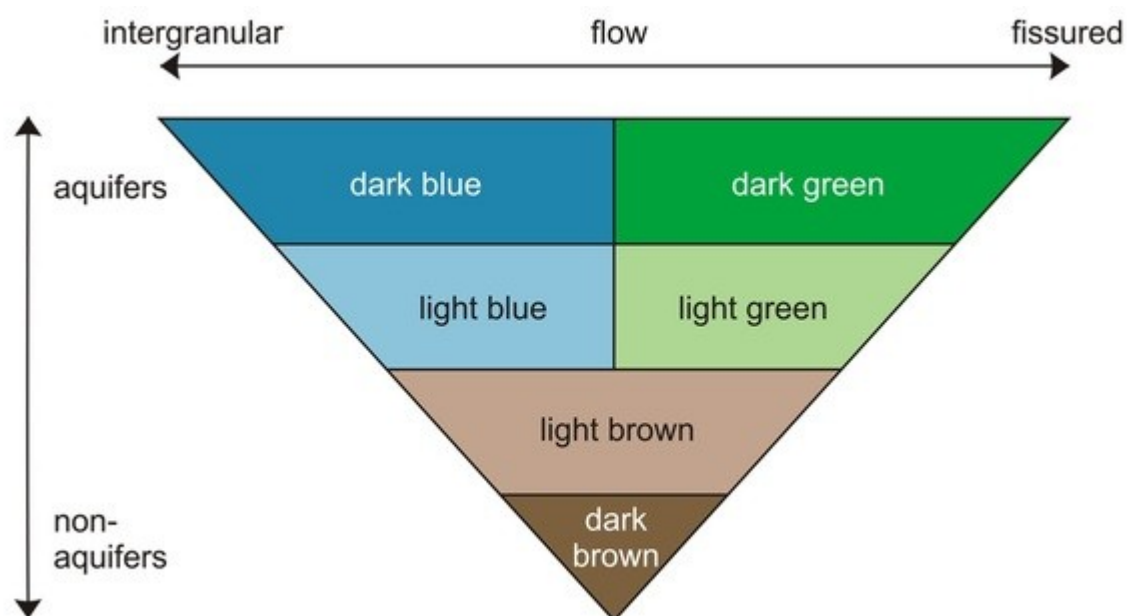


Figure 1: Color scheme for the specification of aquifer types (Struckmeier & Margat, 1995)

Anonymous (1970): International Legend for Hydrogeological Maps. – UNESCO / IASH / IAH / Institute of Geol Sciences, 101 pp.; London

O 13.6: H18, NW II, 30.05.2014, 12:40-13:00

Mobility of SO₄, Pb, and Zn in acidic forest soils of the Czech-Bavarian border region

EDZARD HANGEN¹, BERND SCHILLING¹, THORSTEN SCHEEL¹

¹ Preventive Soil Protection and Soil Monitoring, Bavarian Environment Agency

Kontakt: edzard.hangen@lfu.bayern.de

Soils in the Czech-Bavarian border region are still affected by acidic deposition. Franconian and Upper Palatinate Forest as well as Fichtel Mountains act as topographical barriers towards east-west directed immissions. Forest stands at higher elevation comb out elevated amounts of SO₂ and NO_x out of the ambient air. Due to this, soils with extremely low pH-values down to 3 are encountered above acidic parent materials. To further elucidate this problem, the Bavarian Environment Agency carried out detailed investigations in this region, which were funded by the European Union (Interreg, EFRE). For 921 soil samples of 156 sites, heavy metal contents (water extract), buffer capacity (pH-stat), status of nutrients (CEC-capacity) and iron (Fe_{ox}/Fe_{dit}) as well as sulfate pools were determined.

Various subsoils of the eastern part of the investigated region stored more than 500 mg SO₄ kg⁻¹ and showed heavy metal contents of up to 5-50 mg As kg⁻¹, 20-100 mg Pb kg⁻¹, 10-100 mg Ni kg⁻¹, and 50-250 mg Zn kg⁻¹, respectively.

To evaluate the acid-induced release of sulfate and heavy metals from soil, their mobility was analysed. Sulfate and heavy metals of 180 selected soil samples were assigned to 5 classes of mobility using sequential extraction. Results suggest, that there is no abrupt release of higher amounts of sulfate and heavy metals under the current deposition regime. Thus, no impairment of the quality of ground- and surface water is to be expected.

In the current joint project the Crop Research Institute, Prague, and the Bavarian Environmental Agency, Hof, focus on the contaminant status of the riparian zone along the cross-border river Ohře / Eger. Contaminated areas shall be identified and documented.

Water chemistry in three Czech monolithologic and geochemically contrasting catchments

PAVEL KRAM¹, ANNA LAMACOVA¹, JAKUB HRUSKA¹, OLDRICH MYSKA¹, JAN CURIK¹, FRANTISEK VESELOVSKY¹, VERONIKA STEDRA¹

¹ Geochemistry, Czech Geological Survey

Kontakt: pavel.kram@geology.cz

Three small catchments are situated 5-7 km apart in the Slavkov Forest, western Czech Republic and are forested by spruce (*Picea abies*). They have a similar area, altitude, temperature, and atmospheric deposition but geochemically differing bedrocks (Kram et al. 2012). Granitic Lysina catchment (LYS) is in several research networks (GEOMON, Oulehle et al. 2008; SoilTrEC CZO, Banwart et al. 2012; ICP IM, Holmberg et al. 2013; ICP Waters and ILTER. Serpentinic Pluhuv Bor (PLB) and amphibolitic Na Zelenem (NAZ) catchments are included in the SoilTrEC project as paired sites. Hydrochemical monitoring started in 1989 (LYS), 1991 (PLB) and 2001 (NAZ). Bulk precipitation and throughfall samples were collected monthly, stream water mostly weekly. Soil water was collected monthly using zero-tension lysimeters placed in 10 cm and 20 cm depths and using tension lysimeters placed at three depths (30 cm, 60 cm and 90 cm). Ground water was sampled from 26-30 m deep boreholes. Laboratory methods of water analyses were described in detail in Kram et al. (2012). Computer models were used for predictions of hydrological (BROOK, PIHM) and geochemical patterns (MAGIC). PLB represented sites with very high resilience to anthropogenic acidification due to geogenic reasons. Stream water at PLB exhibited the highest median pH (7.7), alkalinity (0.99 meq/l), Mg (18 mg/l) and Ni (0.1 mg/l). Stream water at NAZ exhibited fairly high resilience to acidification and well balanced concentration of bedrock base cations and therefore intermediate concentrations of Mg (3 mg/l) and the highest concentrations of Ca, Na, and K in stream water. However LYS exhibited extremely low resilience to acidification. Stream water at LYS had very low median pH (4.3), negative alkalinity (-0.05 meq/l), low Mg (0.4 mg/l) and high concentrations of toxic inorganic monomeric Al (0.3 mg/l). MAGIC model simulations suggested that the contrasting stream water compositions in the studied catchments were generated mainly by differences in chemical weathering rates of base cations (Kram et al. 2012). Very slow acidification recovery of drainage waters is predicted for the next decades. Hydrological predictions for the end of the century show decrease in runoff with changes in seasonal patterns, especially with much lower runoff in the summer and early autumn.

Recent research was supported mainly by the European Commission (FP7 SoilTrEC 244118).

BANWART, S. et al. (2012): Soil processes and functions across an International Network of Critical Zone Observatories: introduction to experimental methods and initial results. *Compt. Rend. Geosc.*, 344: 758-772.

BENCOKOVA, A. et al. (2011): Future climate and flow patterns changes in Czech headwater catchments. *Clim. Res.*, 49: 1-15

HOLMBERG, M. et al. (2013): Relationship between critical load exceedances and empirical impact indicators at Integrated Monitoring sites across Europe. *Ecol. Indic.*, 24, 256-265.

KRAM, P. et al. (2012): Streamwater chemistry in three contrasting monolithologic catchments. *Appl. Geoch.*, 27: 1854-1863.

OULEHLE, F. et al. (2008): Long-term trends in stream nitrate concentrations and losses across watersheds undergoing recovery from acidification in the Czech Republic. *Ecosyst.*, 11: 410-425.

Removal of HCH from contaminated subsurface by the technology based on iron reducing bacteria

JIRI MIKES¹, PAVEL ŠPAČEK²

¹ TERAMED, s.r.o.

² , CHEMCOMEX Praha, a.s.

Kontakt: spacek@chemcomex.cz

Biogeochemical cycles are driven by miscellaneous groups of microorganisms. In technological view, these groups may be recognized according to their functional characteristic. Iron reducing bacteria (IRB) represents one of the most important microbial consortiums. Under natural conditions, these bacteria are responsible for iron and manganese cycles. Compounds of both elements will serve as a terminal electron acceptor if iron and manganese are in higher oxidizing number. These microorganisms require a suitable form of reducing equivalent and carbon source as well. And in particular both mentioned aspects open a very powerful direction in the environmental technology development for the application in the subsurface. This contribution introduces the second phase of R&D project which deals with the clean-up biotechnology for chlorinated hydrocarbons removal based on metabolic capabilities of IRB. Especially above mentioned impact of reducing equivalent (source of electrons) plays an extraordinary effect in technological usage. Chlorinated hydrocarbons with less number of chlorine atoms represent an alternative source in contaminated subsurface. Biological process transforms them in to the form of less toxic products. Basic principles of IRB metabolisms, particular forms of iron solution, and especially the first draw of the technical solution will be mentioned in this contribution. Finally, some field of application shows where these outputs may be successfully applied.

This project was founded by Eureka Program.

Bedrock structure and ground water migration in the eastern Bavarian crystalline basement

MATTHIAS ZEITLHÖFLER¹, TIMO SPÖRLEIN², BERNHARD WAGNER²

¹ IFB Eigenschenk GmbH

² Bayerisches Landesamt für Umwelt

Kontakt: matthias.zeitlhoefler@eigenschenk.de

The Bavarian Environment Agency conducted a statewide survey co-funded by the EU and the Bavarian Ministry of the Environment to compile an inventory of geologic and hydrogeologic maps for the entire eastern Bavarian crystalline basement. One purpose of this project was the deduction of a plausible hydrogeologic conceptual model for ground water flow in this area commonly known for its sparse groundwater resources.

In those per se impermeable crystalline rocks ground water migration predominantly occurs along joints, faults and other discontinuities. A lineament analysis based on a digital elevation model was carried out to identify the underlying structural geologic pattern, which was ground truthed with fault

lines depicted on geological maps as well as copious amounts of fracture measurements in the field.

Quantitative data on ground water flow (hydraulic conductivities and specific yields) was gathered from over 280 pumping tests in bedrock wells and piezometers as well as injection tests in boreholes.

The calculated hydraulic conductivities were then attributed to major hydrogeological units in the study area and visualized in histograms and box-whisker-plots. Additionally, the data was depth-correlated up to 260 m below the topographic surface.

Ground water migration and structural geology were correlated by a spatial analysis of the distance of the pumping test sites to mapped topographic lineaments.

As a result, a relationship could be identified between the hydraulic conductivities (kf-values) - and accordingly specific yields - and the distance to the closest lineament to the effect that wells associated with low to very low conductivities ($< 10^{-5}$ m/s) are generally independent of their distance to the nearest lineament. In contrast, higher kf-values (up to 10^{-4} m/s) were almost exclusively located < 500 m from the mapped lineaments.

With regard to depth zonation three distinct zones could be discerned: a shallow level where tertiary and quaternary weathering processes took effect on the bedrock, an intermediate level characterized by a somewhat higher degree of fracturing due to unroofing effects and a lower level where discontinuities predominantly form in response to tectonic stress fields. In the latter, ground water migration is progressively confined to fewer but spatially more extensive fractures with increasing depth below the surface. Thereby, the overall bedrock conductivity becomes highly heterogeneous in that the unfractured bedrock is largely impermeable while the few conductive pathways accommodate the bulk of the available ground water.

Thus, chances of obtaining higher yields from bedrock wells are significantly increased if well sites are located in the vicinity of lineaments, or - ideally - intersections thereof. Although this approach cannot substitute classical hydrogeological reconnaissance it provides an additional source of information to be utilized for locating well sites in the crystalline basement of eastern Bavaria.

Poster

P 13.1

Calculation of Critical Loads of Acidity at Bavarian-Czech Border Area

JAN HABERLE¹, THORSTEN SCHEEL², EVA KUNZOVÁ¹

¹ Crop Research Institute, Praha

² Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hof

Kontakt: haberle@vurv.cz

The contribution presents calculations and mapping of “critical loads” for forest soils in Bavarian-Czech border area. The underlying rock of the Bavarian-Czech border area is of acidic crystalline origin. Acidic soil designated for forestry is typical in the area. The acidification process is further promoted by atmospheric acidic deposition, which has a large impact on the buffering capacity of the soil. A critical load (CL) is defined as the highest dose of a contaminant that does not yet cause chemical changes with long-lasting harmful effects on the most sensitive environmental systems. The main idea behind the CL calculation is a simple mass balance. Acidifying compounds like sulfur and nitrogen are compared to basic compounds like cations. Therefore, many different input parameters are needed, like deposition data (e.g. nitrogen, basic cations, sulfur), plant uptake (e.g. nitrogen, basic cations), weathering (basic cations) and leaching (basic cations). All these parameters need to be available for the whole investigation area so that by complex mathematical equations the mass balance and as a consequence the CL can be calculated. The determination of CL is focused on protecting the environment against the effects of acidic atmospheric depositions and on quantifying the required reduction in emissions of acid-forming compounds into the air. The neutralising capacity of the soil is of primary importance in this calculation and its determination for forest soils was one of the main objectives and tasks of the Czech-Bavarian project "The consequences of acidification on soil and water resources".

Acknowledgement: The contribution was supported by project No.75, European Regional Development Fund "Investing in your future" and by Research Plan of CRI 0002700604.

Scheel, T., Haberle, J. (2012): Auswirkungen der Versauerung auf Böden und Gewässer. Critical Loads – grenzübergreifende Karten (Důsledky okyselení na půdu a vodní zdroje. Kritické zátěže a přeshraniční mapy). Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha – Ruzyně. ISBN: 978-80-7427-111-3. 34 s.

Haberle, J. (2011). Critical loads - Data, problems, critical points, cross-border maps. Workshop Czech-Bavaria project: Effects of acidification on the soil and water sources, 14-15.12.2012, Plzeň.

ICP Mapping Manual – International Cooperative Programme on Modelling and Mapping Critical Loads and Levels (2004): Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends - www.icpmapping.org.

New insights from a detailed hydrogeological survey in the upper Main Valley near Bamberg (Germany)

NADINE HOFFMANN¹, SARAH JUNG-BILK¹, ALFONS BAIER¹, JOHANNES A.C. BARTH¹

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Kontakt: nadine.hoffmann2@gmx.de

In the frame of a mapping programme of planning region three in Bavaria a revised groundwater survey was established between the towns Gädheim and Eltmann in the upper Main Valley. It includes maps of groundwater contours, surface-groundwater distances, groundwater saturated thickness and height distribution of the Quarternary base as well as four profiles. The main purpose of this work was to investigate the Quarternary aquifer for its drinking water availability and its potential use for shallow geothermal energy. The area of investigation had an East-West extension of 32 km and covered morphological heights between 225 and 231 metres above sea level. Local bedrocks from the Upper Muschelkalk to Middle Keuper had variable resistance to weathering. This has largely influenced the extent of the palaeovalley that also forms the Quarternary base.

Constructed maps rely on 110 levelled piezometer measurements and further 16 points with reference levels of surface waters. The Quarternary base was constructed by using drill logs of the piezometers. All data were plotted with the help of ArcGIS Software to establish groundwater level maps. They revealed a general direction of groundwater flow from East to West with the river Main as the key draining surface water body that mostly acts as a gaining stream. Groundwater levels ranged from 224 to 207 m above sea level and height differences of the Quarternary base were up to 16 metres. The aquifer thickness averaged 7.5 metres and had groundwater-saturated thicknesses of approximately 3.5 metres. Hydrogeological gradients and average permeabilities helped to establish tracer velocities between $2.3 \cdot 10^{-4}$ and $7.5 \cdot 10^{-6}$ m/s. These variances in groundwater flow are related to channel structures of the palaeovalley.

Acknowledgements

We are indebted to the Bayerische Landesamt für Umwelt for supplying data and advice for this study

Wir möchten uns beim bayerischen Landesamt für Umwelt für die Bereitstellung der Daten bedanken.



Sandige Fein-Grobkiese des Maintalaquifers

Büttner G., Bader K., Berger K., Fried G. und Schneider G. (1989) Geologische Karte von Bayern 1:25000 Erläuterungen zum Blatt Nr. 5928 Obertheres. *Bayerisches Geologisches Landesamt*, München, 164.

Hermann V. (2012) Bundeswasserstraße Main Ausbau Vorhäfen Schleuse Ottendorf (Main-km 344,68-345,89) Hydrogeologisches Gutachten. GMP-Geotechnik GmbH & Co. KG Beratende Ingenieure und Geologen.

Geyer G. und Schmidt-Kaler H. (2009) Den Main entlang durch das Fränkische Schichtstufenland, 1. Auflage *Pfeil*, München.

Langguth H. R. und Voigt R. (2004) Hydrogeologische Methoden, 2. Auflage *Springer*, Berlin Heidelberg, 997.

Krause U. (1991) Der Maindurchbruch zwischen Steigerwald und Haßbergen – eine tektonische Analyse. *Geol. Bl. NO-Bayern* 41, 1-2: 65-100.

Modeling preferential transport of stable isotopes and heat in a shallow hillslope soil

*TOMAS VOGEL*¹

¹ Faculty of Civil Engineering, CTU Prague

Kontakt: vogel@fsv.cvut.cz

The research is focused on improved quantitative understanding of processes controlling the movement of water and heat below the soil surface under natural vegetation. Special attention was paid to the preferential transport of oxygen-18 during rainfall-runoff events and to the impact of preferential flow on heat transport. Transient flow of water and transport of heat were simulated using a dual-continuum model with two semi-separate flow domains representing the soil matrix and the network of preferential pathways. The soil water status, subsurface fluxes, temperatures, and isotope contents were monitored at an experimental hillslope site. The model was able to reproduce quite well the measured natural variations of oxygen-18, and, at least in principle, also the measured temperatures of effluent subsurface water.

14 Fracking for energy and its role for groundwater and soils

Oral Presentations

O 14.1: H18, NW II, 30.05.2014, 15:00-15:20

Shale Gas Exploration Licenses: Geological and Hydrogeological Situation in the State Hessen, Germany

JOHANN-GERHARD FRITSCHÉ¹, JAN BRODSKY¹, HEINER HEGGEMANN¹, MICHAELA HOFFMANN¹, MARTIN HOTTENROTT¹, MATTHIAS KRACHT¹, THOMAS REISCHMANN¹, FRED ROSENBERG¹, INGA SCHLÖSSER-KLUGER¹

¹ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Kontakt: johann-gerhard.fritsche@hlug.hessen.de

At the beginning of the year 2012, an application for a shale gas exploration license covering a large area in northern Hessen was made. As target formations for the exploration, Carboniferous and Upper Permian shales were designated. In this context, the Geological Survey of Hessen (HLUG) was charged to prepare a report considering the geological potential for unconventional hydrocarbons in Hesse and the possible risks of exploration and production. Moreover, the applicability of three existing comprehensive German studies concerning shale gas and fracking was to be assessed for the special regional situation in Hesse and recommendations for the further approach were to be given.

For the characterization of the geological and hydrogeological situation, the concerned area in northern Hesse has been divided into 8 so called "potential regions for shale gas". For each of these regions an evaluation of different structural regions, of possible target horizons, of the types of reservoir, of the overlying rocks and especially their function as hydrogeological barriers, an analysis of the geological and tectonic inventory and of the importance for drinking water supply as well as for mineral and geothermal springs has been carried out. The lack of data especially for the deep subsurface in most regions is obvious, and so the conclusions concerning the existence of shale gas as well as the integrity of overlying strata have to be understood as a first overview.

The methodology of describing the geological and hydrogeological situation has been partly derived from the methodologies developed in the three existing German studies. The differences of the geological settings in Hessen to those examined in the studies however require some modifications in the conclusions concerning the risks.

The characterization of the potential regions has led to a division into three classes regarding possible shale gas contents, the existence and integrity of barriers and the possibility of induced seismicity. For each of the areas classified in this way, a second areal analysis has been performed with a multitude of different types of land uses and subsurface uses. For example, drinking water protection areas, protection areas for mineral and thermal springs, mining areas, flood plains, FFH-regions and nature protection areas, settlement and industrial areas, traffic infrastructure etc. have been included. As a result, only one of the 8 potential regions for shale gas shows a possible potential for shale gas resources as well as possibly appropriate hydraulic barriers. It covers only 16% of the total area of the exploration area applied for. Nearly 65% of this potential region is covered with protection areas and areas of different public interests.

If exploration and production of shale gas should be pursued under these conditions, extremely high efforts have to be made, particularly in relation to the integrity of the overlying barriers and the monitoring of each groundwater storey.

Brodsky, J.; Fritsche, J.-G.; Heggemann, H.; Hoffmann, M.; Hottenrott, M.; Kracht, M.; Liedmann, W.; Reischmann, T.; Rosenberg, F. & Schlösser-Kluger, I. (2013): Stellungnahme zu vorliegenden Gutachten zum Fracking in Deutschland im Zusammenhang mit dem Aufsuchungsantrag der BNK Deutschland GmbH auf Kohlenwasserstoffe im Erlaubnisfeld „Adler South“. Handlungsempfehlungen aus geologischer und hydrogeologischer Sicht. HLUG, Wiesbaden (Download unter <http://www.hlug.de/start/geologie/rohstoffe/kohlenwasserstoffe.html>)

O 14.2: H18, NW II, 30.05.2014, 15:20-15:40

Development of Shale Gas by Hydraulic Fracturing - Risk Assessment for Surface and Groundwater

*MARTIN SAUTER*¹, T. LANGE², R. HELMIG³, A. KISSINGER³, M. HEITFELD⁴, J. KLÜNKER⁴

¹ Lehrstuhl Angewandte Geologie, Universität Göttingen

² Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg, Freiburg, Deutschland

³ Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Stuttgart, Deutschland

⁴ Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Aachen, Deutschland

Kontakt: msauter1@gwdg.de

Within the context of the assessment of the risks involved in the development of unconventional natural gas resources several expert opinions were formulated during the last three years in Germany (Umweltbundesamt, Umweltministerium Nordrhein-Westfalen, ExxonMobil-Dialogstudie). All of the reports come to the conclusion that hydraulic fracturing measures area controllable. The contamination risk to groundwater by fracking fluids is mainly posed by the “classical” contamination risk scenarios from the surface, resulting from the handling of the various chemical compounds and increased activity (truck traffic, pipelines) rather than from the subsurface transport between the injection location and the shallow groundwater systems.

The paper presents an approach for the assessment of the potentials risks of fracking measures, developed within the ExxonMobil Information and dialogue process (www.dialog-erdgasundfrac.de) and specifies recommendations for the further procedure. Because of the shallower depth and the large number of boreholes and frack-operations required, the scientists come to the conclusions that development of shale gas resources by fracking poses a new dimension of risks compared to the earlier fracking procedures within the context of tight gas development and well rehabilitation and stimulation.

Should politics decide to develop these resources with fracking technologies, a stepwise approach is recommended: This comprises industrial scale demonstration projects, designed together with scientists, accompanied by communication and public acceptance measures. Before any fracking activities are being started, detailed site investigation will have to be carried out subject to the following aspects:

- Avoiding areas with gradients directed towards shallow aquifers (water supply) and deep aquifers (spa, health and recreational use)
- Avoiding areas of tectonically critically stressed conditions not to trigger large scale earth

- quakes
- Avoiding wellhead protection areas.

Furthermore:

- Newest standards for well completion have to be adhered to (well integrity) to prevent leakage along the annulus,
- Adapted monitoring networks and sampling schedules have to be set up to provide a-priori baseline information and early warning infrastructure.

Research can further contribute in the following areas (selection):

- Development of methodologies for the characterisation of the hydrogeological function of fault zones (pathway)
- Investigation of the genesis of fracture networks in claystones (pathway)
- Investigation of migration and reactive transport of frack-fluids in deep environments (processes)
- Quantification of methane release from tight clay and marlstones (source term)
- Development of modelling techniques of density-dependent, multiphase flow and reactive transport of complex fluids in the fractured porous subsurface (modelling)
- Identification of thermogenic methane gas in well and the surrounding areas (monitoring)
- Identification of indicator parameters for the detection of migration of frack-fluids (monitoring)

O 14.3: H18, NW II, 30.05.2014, 15:40-16:00

Water-Related Risks of Exploration and Exploitation of Unconventional Natural Gas Deposits in the River Ruhr Watershed

FRANK-ANDREAS WEBER¹, AXEL BERGMANN¹

¹ IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

Kontakt: fa.weber@iww-online.de

In the watershed of the river Ruhr, several gas companies are currently assessing the possibility to exploit unconventional natural gas deposits presumed in the Lower Carboniferous by employing the fracking technology. The responsible authority of the *Bezirksregierung Arnsberg* has granted the exploration fields (*Erlaubnisfelder*) "Ruhr" and "Falke-South", which cover together almost 50 % of the Ruhr watershed. On behalf of AWWR (Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr e.V.) and Ruhrverband we have examined the water-related risks possibly associated with the exploration and exploitation of these deposits under the specific site conditions of the Ruhr watershed (IWW 2013).

Mapping the presumed shale gas deposits shows that the target formation (Hangende Alaunschiefer in the Lower Carboniferous) extents over an area of up to 679 km² in the exploration fields within the Ruhr watershed, of which approx. 2/3 occur in depths of less than 1.000 m below ground level.

Assessing the dimension of a large-scale exploitation of these deposits, we conclude that the above-ground impacts of such a venture could result in hazards especially for surface water and groundwater used for drinking water production in the Ruhr watershed.

The geologic-technical risks associated with a large-scale exploitation of these deposits is probably less relevant in comparison according to the current state of knowledge, but cannot be ruled out especially in those areas exhibiting less favorable geologic-hydrogeological conditions. The risks associated with the disposal of the extracted flowback can currently not be adequately assessed.

Based on the evaluation of water-related risks and deficits of knowledge, we recommend that exclusion zones have to be defined, in which no deep wells employing the fracking technology are allowed to be drilled, nor should these zones be passed underground (e.g. by horizontal drilling). We recommend that exclusion zones must cover all areas exhibiting unfavorable geologic-hydrogeological conditions, in which the rock overlying the frac horizon might provide a poor geologic barrier due to insufficient thickness, the presence of deep reaching faults or anthropogenic pathways. We further recommend that exclusion zones must cover all water bodies with special protection requirements in which precautionary principals dismiss the employment of the fracking technology.

After a preliminary mapping of the recommended exclusion zones, an area of less than 3 % of the exploration fields "Ruhr" and "Falke-South" remain potentially for the exploration and exploitation of shale gas in the Ruhr watershed. However, additional land use requirements of high and very high significance (*Raumwiderstand*) have concurrently to be considered in some of these areas.

IWW (2013): Wasserwirtschaftliche Risiken bei Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten im Einzugsgebiet der Ruhr. Accessible at <http://www.awwr.de> and <http://www.ruhrverband.de>

15 Forum of Young Hydrogeologists (H 36, NW III)

Oral Presentations

O 15.1: H36, NWIII, 28.05.2014, 12:00-12:20

Scaling the Geochemical Effects of Potential Gas Leakages from Deep Underground Storage Systems into Shallow Aquifers

MARTON BERTA¹, FRANK DETHLEFSEN¹, MARKUS EBERT¹, ANDREAS DAHMKE¹

¹ Christian Albrechts Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Abteilung Angewandte Geologie

Kontakt: mb@gpi.uni-kiel.de

The storage of compressed gases (air, methane, or hydrogen) in the subsurface is important for the new energy concept in Germany ("Energiewende"), because renewable energy is not available at all times. Storage of surplus energy in form of compressed air may bridge an energy shortfall over several hours to few days, while seasonal energy storage can be achieved by using compressed methane or hydrogen, either by a later combustion with subsequent electrification or by feeding the gases into the gas grid. Numerous underground gas storage plants are required to support this concept and the following impacts of potential gas leakages on shallow aquifers are considered in this study: Air leaking from a high pressure reservoir potentially oxidizes pyrite in reduced overlying aquifers like lignite sand. The increase of sulfate concentration, the decrease of pH, and the release of toxic trace elements might be a risk for drinking water. Methane leakages may cause reduction of sulfate in the pore water to sulfide or iron(III) reduction from the solid phase, generating dissolved iron(II), what may also damage the quality of the produced water. Similar reductive processes, possibly completed by the reduction of carbonates, are expected in case of hydrogen leakages as well.

Potential environmental effects have to be predicted for storage sites by risk assessment, probably using site specific sediments and groundwater in laboratory experiments. Column experiments at in situ aquifer conditions applying high gas pressures of up to 50 bars are very elaborate. However, it is unclear if such high pressure experiments have to be conducted for each site. Transfer functions extrapolating data gained in normal pressure laboratory experiments to high pressure conditions are therefore highly desirable. The presented study focuses on these transfer functions.

So far, we tested an artificial pyritic sand and a natural lignite sand in flow-through column experiments at oxygen partial pressures of up to 1 bar with a flow speed of 0.6 m/day simulating an environment formed by a gas leakage in a shallow aquifer. As expected, pyrite oxidation was observed, but the reaction order regarding dissolved oxygen show higher values (0.75-0.91) than known from commonly used kinetic rate laws. The results are compared to results from high pressure column experiments ($pO_2 = 10$ bar) using the same materials to develop a transfer function for estimating the environmental effects for in-situ conditions in shallow aquifers (depth ~500m) from laboratory experiments at normal P/T conditions. A similar experimental method is going to be used to evaluate the effects of the mentioned reductive gases.

Untersuchungen zum Sorptionsverhalten von Alkylphenolen

MARTIN BINDER¹, DIANA BURGHARDT¹, FRANK ENGELMANN², CHARLOTTE KOPF¹, ISABEL JORDAN¹, ANIKA PASCHILLER¹, RUDOLF LIEDL¹

¹ TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, Bergstraße 66, 01062 Dresden

² Sensatec GmbH, Büro Brandenburg, Ebereschenstraße 29, 16833 Fehrbellin

Kontakt: Martin.Binder@mailbox.tu-dresden.de

Kurzkettige Alkylphenole gehören als Nebenprodukte der meisten Kohleveredelungsprozesse zu typischen organischen Schadstoffen in Böden und Grundwässern von Altstandorten der kohlechemischen Industrie. In den letzten Jahren konnten für diese Kontaminationen ENA-Maßnahmen entwickelt und getestet werden (Engelmann, 2011), wobei ein aerober, mikrobiologischer Abbau hier der effizienteste Schadstoffminderungsprozess ist (DGFZ, 2000).

Besonders an Altstandorten der Kohleveredlung werden die Grundwasserleiter jedoch oftmals durch inhomogen verteilte und stark kohlehaltige Schichten geprägt. Um deren Beitrag zum natürlichen Rückhalt von Alkylphenolen durch Adsorption quantifizieren zu können, werden derzeit entsprechende, grundlegende Laborversuche durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden von einem Altstandort der Kohleveredlung ein Alkylphenol-haltiges Grundwasser sowie Sedimentproben mit verschiedenen Kohlegehalten gewonnen und damit Batchversuche zur Ermittlung von Adsorptionskapazitäten und –kinetiken durchgeführt (IGW, 2014).

Anschließend ist das Adsorptionsverhalten ausgewählter Alkylphenole (Phenol, m-,p-Methylphenol, 2,4-2,5-Dimethylphenol, 2,3,5-Trimethylphenol) durch Anpassung von Adsorptionsisothermen (Henry, Freundlich, Langmuir) zu beschreiben. Zudem ist zu prüfen, ob es sich hierbei um Gleich- oder Nichtgleichgewichtsprozesse (Intrapartikeldiffusion) handelt. Parallel zu den Adsorptionsuntersuchungen werden 1D-Durchströmungsversuche durchgeführt, um sediment- bzw. standortspezifische Transportparameter (Porositäten und K-Werte) zu ermitteln. Alle Ergebnisse werden anschließend genutzt, um eine bisher nur auf Schätzwerten basierende, analytische 1D-Stofftransportprognose-Rechnung (Burghardt u. Liedl, 2013) zu ertüchtigen. Bei Indikation eines signifikanten, kinetischen Adsorptionsverhaltens der Alkylphenole an den kohlehaltigen Sedimenten ist eine numerische Abbildung dieses Prozesses mit dem Programm SMART (Finkel et al., 2002) geplant. Hierzu ist die zugehörige Schadstoffdatenbank entsprechend anzupassen und ggf. zu erweitern.

Burghardt, D., Liedl, R. (2013) : Analytische 1D-Stofftransportrechnung zum Ausbreitungsverhalten von Phenol und Benzol am Standort Lauchhammer', Studie im Auftrag der Sensatec GmbH

DGFZ (2000) : Fortführung der mikrobiologischen Untersuchungen der Grundwasserleiter am Standort der ehemaligen Kokerei Lauchhammer. Studie im Auftrag der LMBV mbH.

Engelmann, F.I. (2011) : Gekoppelte Niederdruck-Hochdruckimpuls-Direktgas-Injektion zur Steuerung anaerober und aerober Reaktionsräume zur Verbesserung der Grundwasserqualität im stofflich belasteten Zustrom von Wassernutzungsbereichen. Arbeitspaket 2: Entwicklung eines raumwirksamen Gasmesssystems, Förderkennzeichen: KF2171902SB9, Projektförderung BMWF, Programm ZIM-KOOP. 2010-2011

Finkel, M., Liedl, R., Teutsch, G. (2002) : Modelling Reactive Transport of Organic Solutes in Groundwater With a Lagrangian Streamtube Approach. {aus Schulz, H. & Teutsch, G. (Hrsg.): Geochemical Processes – Concepts for Modelling Reactive Transport in Soils and Groundwater, DFG Research Report, Wiley-VCH,

O 15.3: H36, NWIII, 28.05.2014, 12:40-13:00

Bewertung eines Schadensfalls mit leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen im Stadtgebiet Nürnberg

THOMAS GLÄSSER¹, ANSSI MYRTTINEN¹, JOHANNES BARTH¹

¹ Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Friedrich-Alexander-Universität Nürnberg/Erlangen, Geozentrum Nordbayern

Kontakt: thomas.glaesser@geo.stud.uni-erlangen.de

Ziel der Untersuchung war es, den Abbau und die Ausbreitung einer Schadstofffahne leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe (LHKW), ausgehend von einem zentral gelegenen Schadensherd in der Stadt Nürnberg, zu bestimmen.

Zur Klärung trugen hier die Recherchen der historischen Nutzung des Geländes, das Zusammentragen früherer Analyseergebnisse und die Auswertung aktueller Laborwerte bei. Genauer eingegangen wurde auf Eh- und pH-Werte, die Alkalität, Chlorid- und LHKW-Konzentrationen, Untersuchungen zur Wasserisotopie und DIC sowie K_f -Wert.

Im Untersuchungsgebiet (~700x350m) war der Mittelwert des pH bei 7,4. Durch chemische Reaktionsprodukte aus dem LHKW Abbau könnte der pH-Wert in einen Bereich verschoben werden, in dem chemisch/physikalischer, sowie biologischer Abbau nur noch erschwert möglich ist. Die Alkalität des Grundwassers im Untersuchungsgebiet ist jedoch ausreichend, um den pH-Wert genügend zu puffern.

Der Mittelwert des Eh im Untersuchungsgebiet betrug 80mV. 76 von 98 Eh-Werten lagen im positiven Bereich. Im Untergrund herrschte somit überwiegend ein oxidierendes Milieu vor, was den biologischen Abbau zwar zulässt, aber die anaeroben Mikroorganismen hemmt Knorr & von Schell (1997). Die erhöhten Chloridgehalte im kontaminierten Grundwasser können diverse Ursachen haben, sollten aber nach Schläger (1998), bei biologischem Abbau höher sein. Ein Indiz für eindeutigen LHKW-Abbau war im Verhältnis von Per- zu Trichlorethen (PER/TRI Verhältnis) erkennbar. Etwa 700m vom Schadensherd entfernt, betrug PER/TRI nur noch ein Zehntel des im Schadensherd bestimmten Verhältnisses.

Das Maximum von $LHKW_{gesamt}$ lag 1997 im Schadenszentrum bei 174.000 µg/L. Dies überschritt den Grenzwert von 10µg/L der Trinkwasserverordnung (TVO) Grohmann & Aurand (2003) um das 17.400fache. Durch Sanierungsmaßnahmen konnten die Werte bis 2011 auf ein Mittel von 3.259 µg/L gesenkt werden. Dabei wurden nach einem Gutachten, bei einem Bodenaushub von etwa 7800 Tonnen, mindestens 1,2 Tonnen LHKW entfernt.

Im Durchschnitt lag 2012, an drei beprobten Hausbrunnen, $LHKW_{gesamt}$ bei 25,4 µg/L. Dieser Wert entspricht dem Zweieinhalbfachen der TVO und regt, bei Bestätigung einer Kanzerogenität, zu weiteren Sanierungsmassnahmen an. Bei Überlegungen zu weiteren Sanierungsmassnahmen zeigte, bei vorliegender Geologie und bereits getroffenen Maßnahmen, eine Air-Sparging-Anlage die meisten Vorteile. Zudem wird sie an anderen Stellen, Griebler & Mösslacher (2003), Karg

(1999), Schläger (1998), bereits diskutiert und vorgeschlagen.

Grohmann, A., Aurand, K. (2003): Die Trinkwasserverordnung: 821 S., Berlin (Schmidt)

Griebler, C., Mösslacher, F. (2003): Grundwasserökologie: 495 S., Wien (Facultas Universitätsverlag)

Karg, F. (1999): Verhalten von Untergrundkontaminationen leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe (LHKW) am Beispiel eines Industriestandortes: 176 S., Marburg/Lahn (Dissertation LMU)

Knorr, C., Schell, T. von (1997): Mikrobieller Schadstoffabbau: 466 S., Braunschweig, Wiesbaden (Vieweg)

Schläger, A. (1998): Ausbreitung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (LHKW) im Untergrund Münchens: 166 S., München (Dissertation LMU)

O 15.4: H36, NWIII, 28.05.2014, 13:00-13:20

Hydrogeologie am Nordrand des Tauernfensters, Rauris, Kolm-Saigurn, Salzburg

DANIEL DIRNBERGER¹

¹ Fachbereich Geographie und Geologie, Universität Salzburg

Kontakt: daniel.dirnberger@stud.sbg.ac.at

Obwohl nicht verkarstungsfähige Aquifere wichtige Trinkwasserspeicher in alpinen Siedlungsräumen darstellen, wurde die Hydrogeologie der metamorphen und kristallinen Gebiete im Alpenraum bisher wenig untersucht. Die präsentierte Studie befasst sich mit der Hydrogeologie eines bedeutenden Bausteins der Ostalpen – dem Tauernfenster, das sich zwischen Brenner und Katschberg auf einer Länge von ca. 120 km in W-E-Richtung durch Österreich erstreckt.

Das im Zuge der Masterarbeit gewählte Untersuchungsgebiet liegt im Salzburger Rauristal und bildet den Nordrand des Tauernfensters, welches in diesem Bereich von geklüfteten Gesteinen der Schieferhülle, sowie des Zentralgneises geprägt ist. Mittels einer detaillierten GPS- und GIS-gestützten Quellkartierung, sowie der Aufnahme geologischer Einheiten und

Strukturen, werden mögliche Zusammenhänge zwischen Klüftung, lithologischen Wechseln und Quellhorizonten untersucht.

Neben der Festgesteinshydrogeologie werden im Besonderen auch die Aquifereigenschaften des größten Bergsturzes im Land Salzburg betrachtet. Dieser stark zerrüttete Bereich, weist einen Oberflächenabfluss in Form eines Gebirgsbaches, sowie vereinzelt Quellaustritte auf. Erste Messreihen des Oberflächenabflusses im Bergsturz deuten auf ausgeprägte Versickerungsbereiche und Bereiche diffuser Zutritte bzw. Wiederaustritte hin.

Die Bergsturzoberfläche ist durch eine Vielzahl von Tümpeln gezeichnet. Diese werden größtenteils von Regenwasser gespeist und sind vom eigentlich Aquifer durch eine nach unten hin abdichtende Schicht getrennt. Dies ist möglicherweise auf eine spätglaziale Vergletscherung und der damit verbundenen Ablagerung einer feinkörnigen, wasserundurchlässigen Schicht zurückzuführen.

Die Arbeit soll einen Beitrag zur generellen hydrogeologischen Charakterisierung eines typischen alpinen Gebirgsraumes leisten.

Salt tracer and 3-D time-lapse electrical resistivity tomography imaging – a field test for optimum spatial and temporal resolution

KENNEDY O. DORO¹, CARSTEN LEVEN¹, ARNO PATZELT², OLAF A. CIRPKA¹

¹ Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen

² Terrana Geophysik, Mössingen

Kontakt: carsten.leven-pfister@uni-tuebingen.de

Recent studies have shown that the distribution of aquifer hydraulic parameters can be obtained by a fully coupled inversion of electrical resistivity and hydraulic head data obtained from tracer or aquifer recharge experiments monitored via electrical resistivity tomography (ERT). This however opens up a practical challenge on how well and fast ERT can be used to image such dynamic processes mostly at field scale. In this study, we explored the possibility of an improved spatial and temporal resolution of a tracer - time lapse ERT imaging in three dimensions with optimum tradeoffs. For this purpose, we conducted salt tracer experiments at the Lauswiesen test site of the University of Tübingen. The aquifer at the site consists of a 6 m thick, heterogeneous alluvial sand and gravel deposit with an average hydraulic conductivity of 3×10^{-3} m/s. Tracer experiments were conducted using a dipole injection-extraction approach to keep high transport velocity, maximize the tracer recovery within a short time span and minimize influence of changing boundary conditions on test, e.g. from river stage changes. Imaging of the tracer experiment was done within a $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ domain using both cross-hole and surface ERT measurements to obtain 3D images of the tracer distribution in space and time. Initial results show that we could capture the tracer breakthrough using a measurement cycle of 20 minutes for each cross-hole measurement consisting of 4650 data points and 25 minutes for surface measurements with 1976 data points. Results of this work will be further analyzed using a fully coupled hydrogeophysical inversion approach after Pollock and Cirpka [2010] to obtain the hydraulic conductivity distribution of the study site.

Pollock, D., and O. A. Cirpka (2010), Fully coupled hydrogeophysical inversion of synthetic salt tracer experiments, *Water Resour. Res.*, 46, W07501, doi: 10.1029/2009WR008575.

Bewertung von Wärmeträgerfluidleckagenen aus Erdwärmesonden auf Grundlage vorhandener Daten und numerischer Modellsimulationen

CORDULA DÖRR¹, RALF KÖBER¹, DIRK SCHÄFER¹, ANDREAS DAHMKE¹

¹ Angewandte Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutschland

Kontakt: doerr@gpi.uni-kiel.de

Geothermie und Wärmespeicherung können im Rahmen der Energiewende und für die Nutzung Erneuerbarer Energien einen wichtigen Beitrag leisten. Die hierbei eingesetzten Erdwärmesonden enthalten im Inneren zirkulierende Wärmeträgerfluide (WTF), die aus einer Mischung von Frostschutzmitteln (Ethylen- und Propylenglykol) und Additiven mit unterschiedlichen Funktionen (z.B. Benzotriazole zum Korrosionsschutz) bestehen. Im Hinblick auf den vorsorgenden Grundwasserschutz und die damit zusammenhängende Genehmigungsfähigkeit von

geschlossenen Erdwärmesonden besteht Bedarf an der Beurteilung potentieller Leckagerisiken von WTF. Hierbei stellt sich die Frage, welche Prozesse die Ausbreitung im Grundwasser maßgeblich bestimmen und inwieweit trotz der begrenzten WTF-Menge einer Erdwärmesonde unter bestimmten hydrogeologischen Randbedingungen signifikante Auswirkungen auf die Wasserqualität zu erwarten sind. Für numerische Szenariensimulationen im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung werden neben den hydrogeologischen standorttypischen Randbedingungen Parameter zum Transport- und Abbauverhalten von Frostschutzmitteln und Additiven sowie zu einer möglichen Inhibition bezüglich des Abbaus der unterschiedlichen Inhaltsstoffe als Eingangsparameter benötigt. Zielsetzung der Arbeit war es daher, die bisher verfügbaren Daten dazu anhand einer Literaturstudie kritisch zu evaluieren und nachfolgend in einer numerischen Szenarienanalyse zu bewerten.

Im ersten Schritt zur dargestellten Gefährdungsabschätzung wurden mit einer umfangreichen Literaturrecherche hinsichtlich der Identität, des Abbau- und Transportverhaltens sowie der Toxizität der Inhaltsstoffe der aktuelle Stand bisheriger Untersuchungen innerhalb einer Studie zusammengefasst und Kenntnislücken aufgezeigt. Während die Anzahl quantitativer Untersuchungen zum Glykolabbau die zum Benzotriazolabbau deutlich übersteigt, ist nahezu allen diesen Studien gemeinsam, dass die Reaktionskinetik-bestimmende Konzentration der Reaktionspartner unberücksichtigt bleibt und die ermittelten Abbauratenkonstanten erster Ordnung für beide Stoffgruppen eine breite Streuung aufweisen. Für die Benzotriazole wurde teilweise ein sehr langsamer Abbau festgestellt, so dass für solche Fälle vermutlich die Sorption den dominanten Rückhalteprozess darstellt. Auf diesen Untersuchungen aufbauend wurden in einem zweiten Schritt mittels einer Modell-basierten Sensitivitätsstudie die Auswirkungen von Abbau und Sorption mit den innerhalb der Literaturstudie ermittelten Parametern aufgezeigt. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse werden in einem weiteren Schritt das Abbauverhalten verschiedener WTF-Inhaltsstoffe unter Berücksichtigung variierender Reaktionspartnerkonzentrationen und auftretender Inhibitionseffekte mit Hilfe von Säulenversuchen quantifiziert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsschritte bilden insgesamt die Grundlage für numerische Modellsimulationen zur Abschätzung der Gefährdung durch Leckagen von WTF für verschiedene typische hydrogeologische Randbedingungen.

O 15.7: H36, NWIII, 28.05.2014, 15:20-15:40

Contaminant plumes are finite – even in 2D laboratory experiment?

SANDIP CHAUDHARY¹, PRABHAS K. YADAV², FALK HÄNDEL³, THOMAS KRAUSE³, RUDOLF LIEDL³

¹ **University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Science**

² **Sharda University, School of Engineering and Technology, Greater Noida, Indien**

³ **Technische Universität Dresden, Institute for Groundwater Management**

Kontakt: rudolf.liedl@mailbox.tu-dresden.de

In the last ten years (approximately) a lot of natural attenuation scenarios have been modeled under the assumption that the degradation of pollutants occurs mainly at the reaction front. This was particularly facilitated by using numerical methods which readily covers a wide range of different hydrogeological scenarios to predict associated plume length. In contrast, due to experimental difficulties, only part of the scenarios has so far been simulated in laboratory experiments in order to assess the suitability of the models under controlled conditions.

This paper deals with the design and evaluation of natural attenuation scenario at laboratory scale

in a tank experiment which is based on a vertical 2D experiment (tank dimension 200 cm * 2 cm * 15 cm). The study aims at the maximum spreading of electron donors (contaminant) reacting with the vertically entering electron acceptors (e.g. oxygen). In the experiment, this scenario was simulated by a base-acid pair with pH = 11.3 and pH = 2, respectively. An indicator mixing with both acid and base was used to visualize the reaction front. Glass beads (diameter 1.55 mm to 1.88 mm) was used as porous media. Experiments were evaluated after reaching steady conditions.

For the experimental setup, a special configuration was designed to uniformly supply acid vertically via the aid of suction cups, which are arranged linearly along the top of the glass beads, and supplying base horizontally using a multichannel peristaltic pump.

Besides this novelty, the experimental design also provided a way to optimize the time to achieve the steady state. This was achievable because the tank was first saturated with acid (electron acceptors) and then flooded with base (electron donors). So, as the electron donors entered the tank, reaction occurred simultaneously along the front, which accelerated the setup to achieve steady conditions.

The results of different experiments showed that plume height decreased along the flow direction almost reaching the bottom of the tank, however, exceeded the length of the test tank. Still with reference to the experimental results, it was possible to estimate the length of plume by extrapolation. Furthermore, values or ranges of transverse dispersivity were determined by inverting an analytical model and were found to correspond to data in the literature.

The developed experimental design is considered suitable to experimentally simulate vertical access of electron acceptors to contaminant plume. This can be a basis for comparison with corresponding numerical and analytical models which are intended to predict plume lengths.

O 15.9: H36, NWIII, 28.05.2014, 15:40-16:00

Grundwassertemperaturen im Limmattal-Grundwasserleiter in Zürich - Eine urbane Wärmeinsel in einem dynamischen hydrogeologischen System

MARTIN JUNG¹, JAIME RIVERA², PHILIPP BLUM¹, RALF BRAUCHLER², PETER BAYER²

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie

² Departement Erdwissenschaften, ETH Zürich

Kontakt: mpjung@gmx.de

In dicht besiedelten Gebieten ist die thermische Beeinflussung der Umwelt durch den Menschen besonders stark. Dies äussert sich in der Ausbildung urbaner Wärmeinseln (Urban Heat Islands, UHIs), in denen die Temperaturen gegenüber der ländlichen Umgebung erhöht sind. Dass sich diese auch auf den Untergrund und das Grundwasser ausbreiten, wurde am Beispiel einiger Grossstädte in Nordamerika (Ferguson und Woodbury, 2007), Asien (Taniguchi et al., 2009) und Deutschland (Menberg et al., 2013a) bereits belegt. Diese Temperaturanomalien im Untergrund bergen Gefahren für die Qualität des Grundwassers, sind für eine geothermische Wärmenutzung urbaner Aquifere aber besonders attraktiv. Bisherige Arbeiten, die sich bei UHIs mit den Prozessen des Wärmetransports in den Untergrund beschäftigen (Menberg et al., 2013b), zeigen, dass der Einfluss der hydrogeologischen Verhältnisse zwar eine grosse Rolle spielen kann, aber trotzdem wurde er kaum untersucht.

In dieser Studie wird die Ausbildung der urbanen Wärmeinsel im Untergrund von Zürich untersucht. Dafür wurden über einen Zeitraum von drei Monaten etwa 50 Temperatur-Tiefen-Profile

des urban geprägten Limmattal-Aquifers gemessen und mit Langzeitreihen von Grundwasser-, Fluss- und Lufttemperaturen verglichen. Neben der Absicht, die Wärmeverteilung im Untergrund von Zürich flächig zu erfassen, liegt ein besonderer Fokus auf der Rolle der hiesigen hydrogeologischen Bedingungen beim Wärmetransport. Bei dem untersuchten Aquifer handelt es sich um ein dynamisches Grundwassersystem, das zu 90% durch Flussinfiltrationen gespeist wird und stark genutzt wird. Dies führt in Grundwasser-Messungen zu starken saisonalen Temperaturamplituden, die erwartungsgemäss mit zunehmender Distanz zum Fluss abnehmen. Es gilt nun hier, die gemessenen Temperaturen sowohl auf ihre natürliche saisonale als auch auf ihre anthropogene Beeinflussung (z.B. konduktiv, oder durch Versickerung) zu untersuchen.

Die Messungen ergaben, dass die Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet von Zürich allgemein erhöht sind. Für das Limmattal wurde ein regionaler Wert von 13°C bestimmt, welcher 3,5 K über der Temperatur ungestörter Aquifere in der Umgebung liegt. 1,5 K dieser Differenz können den Effekten der Urbanisierung zugeordnet werden, etwa 2 K der starken Infiltration durch das Flusswasser, welches sich im Zuge der Klimaerwärmung alleine im letzten Jahrzehnt um etwa 0,5 K erwärmt hat. In Abschnitten geringerer hydraulischer Leitfähigkeit, in denen der advective Temperaturtransport gegenüber dem konduktiven Wärmeeintrag von der Oberfläche reduziert ist, sind die Grundwassertemperaturen zusätzlich erhöht. Damit ist in Zürich ein direkter Zusammenhang zwischen hydrogeologischen Parametern und der Temperatur im Untergrund geschaffen. Regional wurde aufgezeigt, dass der Limmattalgrundwasserleiter aufgrund seines hohen Wärmeenergiegehalts, verbunden mit seiner Ergiebigkeit, ein erhöhtes Potential zur geothermischen Wärmenutzung hat.

Ferguson G., Woodbury A.D., (2007). Urban heat island in the subsurface - Geophys. Res. Lett., 34: L23713.

Menberg, K., Bayer, P., Zosseder, K., Rumohr, S., Blum, P., (2013a). Subsurface urban heat islands in German cities - Science of the Total Environment, 442: 123–133

Menberg, K., Blum, P., Schaffitel, A., Bayer, P., (2013b). Long Term Evolution of Anthropogenic Heat Fluxes into a Subsurface Urban Heat Island - Environmental Science & Technology, es-2013-01546u

Taniguchi, M., Shimada, J., Fukuda, Y. Yamano, M., Onodera, S., Kaneko, S. & Yoshikoshi, A. (2009): Anthropogenic effects on the subsurface thermal and groundwater environments in Osaka, Japan and Bangkok, Thailand - Science of the Total Environment, 407: 3153 - 3164.

O 15.10: H36, NWIII, 28.05.2014, 16:00-16:20

Der Einfluss der Temperatur auf das CKW-Freisetzungsverhalten bei oberflächennaher Wärmespeicherung

NICOLAS KOPROCH¹, RALF KÖBER¹, ANDREAS DAHMKE¹

¹ Angewandte Geologie, Christian-Albrechts Universität zu Kiel

Kontakt: nko@gpi.uni-kiel.de

Als Beitrag zur Energiewende stellt die Wärmespeicherung im oberflächennahen Grundwasser eine vielversprechende Technologie zur kosteneffizienten Heizwärme- und Warmwasserbereitstellung dar. Durch Wärmespeicherung induzierte Temperaturerhöhungen können bei Vorliegen organischer Grundwasserkontaminationen zu einer beschleunigten NAPL-Freisetzung führen und damit zu einem erhöhten und unkontrollierten Schadstoffeintrag in das Grundwasser. Dieses führt bisher dazu, dass Wärmespeicherung bei Vorliegen von Altlasten nicht genehmigt wird. Andererseits können durch Temperaturerhöhungen mikrobielle Abbauprozesse,

z.B. durch eine Steigerung der Aktivität, unterstützt werden. Die Freisetzung von NAPLs wird von den temperaturabhängigen Einflussgrößen Viskosität, Löslichkeit, Diffusivität, Dichte und Oberflächenspannung beeinflusst und können im Allgemeinen zu einer verstärkten NAPL-Freisetzung bei erhöhten Temperaturen führen. Einen weiteren entscheidenden Einfluss auf den NAPL-Lösungsprozess haben die Abstandsgeschwindigkeit, die hydrodynamische Dispersion sowie die Quell- und Sedimentarchitektur. Die Dispersion hat neben einem Einfluss auf die Freisetzung und Ausbreitung gelöster NAPLs auch einen wesentlichen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Reaktionspartnern für den mikrobiellen Abbau. Allerdings gibt es bisher kaum experimentelle Untersuchungen zu einem möglichen Temperatureinfluss auf die Dispersion. In wie weit bestehende Modelle das komplexe Ineinandergreifen der Einzelprozesse bei erhöhten Temperaturen und ihren Effekt auf die Nettoemission wiedergeben können, kann aufgrund mangelnder experimenteller Daten bisher noch nicht beurteilt werden. Das Ziel der durchgeführten Arbeiten bestand deshalb in der Parametrisierung des temperaturabhängigen CKW-Lösungsverhaltens in 2D durchströmten Systemen.

Hierzu wurde in neu entwickelten temperierbaren, homogen befüllten 2-D Versuchsgewässern (40 cm x 25 cm x 10 cm) die Schadstofffreisetzung aus einer residualen TCE-Quellzone bei verschiedenen Temperaturen untersucht (10°C bis 70°C). Im Vorfeld einzelner Versuche erfolgten Tracerversuche zur Bestimmung der hydrodynamischen Kenngrößen und zur Quantifizierung eines Temperatureinflusses auf die Dispersion. Über ein hoch aufgelöstes Probenahmeprofil waren eine detaillierte räumlich-zeitliche Charakterisierung der Schadstofffreisetzung, sowie eine präzise Bestimmung der Querdispersion möglich.

Ein Temperatureinfluss auf die Lösungsgeschwindigkeit und auf gelöste CKW-Konzentrationen deutete sich in ersten Experimenten an und Unterschiede bei verschiedenen Temperaturen korrelierten qualitativ mit den maximalen CKW-Löslichkeiten. Die Datenlage aus den Experimenten erlaubt bisher noch keine abschließenden Aussagen, jedoch deutete sich bei einer Temperaturerhöhung auch eine Zunahme der Dispersionskoeffizienten an.

Im Rahmen der Präsentation wird ein Überblick über die erhobenen Datensätze und die damit gegebenen Möglichkeiten zur Modellvalidierung gegeben.

O 15.11: H36, NWIII, 28.05.2014, 16:20-16:40

Hydrogeologische- und Strukturgeologische Untersuchungen im Reichraminger Hintergebirge

JOHANNES MEYER¹

¹ Student, Universität Salzburg

Kontakt: johannes.meyer@elsnet.at

Innerhalb eines orographischen gut eingrenzbaeren Einzugsgebiets im ‚Reichraminger Hintergebirge‘ dienen struktur- und hydrogeologische Detailaufnahmen der Erkundung der Aquifereigenschaften des etwa 800m hohen Kaibling. Das ca. 4 km² groÙe Gebiet liegt an der Grenze zum Nationalpark Kalkalpen in der Gemeinde Reichraming in Österreich.

Geologisch befindet sich der Bereich in den nördlichen Kalkalpen und wird von unterschiedlich stark verkarstungsfähigen Gesteinen wie Dolomit, Kalk sowie Kalksandsteine aufgebaut.

Ziel einer detaillierten Geländeaufnahme ist es, die Aquifereigenschaften und die hydrogeologische

Wechselwirkung der verschiedenen Lithologien zu erfassen. Eine Schlüsselstelle hierfür bilden einige interessante Quellen in einem Steinbruch auf Vorflutniveau, die offenbar einen Großteil des Einzugsgebiets entwässern. Sie treten aus einer Wand mit steilstehender hangparalleler Schichtung und unregelmäßigen Großklüften im Hauptdolomit aus. Diese Austritte sind zum Teil stark schwankend, weisen also auf Verkarstung hin, die innerhalb des Hauptdolomits jedoch oberflächlich im Gebiet nicht beobachtet werden kann. Zum Verständnis der Aquiferdynamik wird die Schüttungsmenge einer der wenigen, dauerhaft schüttenden Quellen im Steinbruch kontinuierlich erfasst und die resultierende Zeitreihe in Kombination mit Niederschlagsdaten einer nahegelegenen Messstelle ausgewertet.

Neben dem unterschiedlichen Abflussverhalten der Quellen zeigen sich auch signifikante biologische Merkmale in der Umgebung der Quellaustritte im Steinbruch. So gehen einige Quellen mit starkem Moos- und Algenwachstum einher, andere zeigen diese Auffälligkeit nicht. Dies lässt den Schluss zu, dass hier qualitativ unterschiedliche Wässer gefördert werden und diese damit auf unterschiedliche Fließsysteme zurückgehen. Mit Hilfe von hydrochemischen Untersuchungen und deren räumlicher und zeitlicher Variationen werden diese Unterschiede erkundet.

Die Kombination von hydrogeologischen Daten mit den Ergebnissen der strukturgeologischen und lithologischen Detailaufnahme des Gebiets ermöglicht letztendlich die Erstellung eines dreidimensionalen Bildes des Aquiferkörpers.

O 15.12: H36, NWIII, 28.05.2014, 16:40-17:00

Hydraulische Charakterisierung verschiedener Kunststoffbrunnenfiltertypen für oberflächennahe Anwendungsgebiete im Feld und Labor

JOHANNA RÜTHER¹, INGO SASS¹

¹ Angewandte Geowissenschaften, Angewandte Geothermie, TU Darmstadt

Kontakt: ruether@geo.tu-darmstadt.de

Die Leistungsfähigkeit eines Brunnens definiert sich nicht nur über die hydrogeologischen und hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes, sondern auch über die Bohrlochgeometrie und Brunnenausbaumaterialien [DVGW 2005]. Vor allem die hydraulischen Eigenschaften von Filtern wie die Durchlässigkeit und Filterkapazität stellen eine zentrale Rolle dar. Diese beiden Parameter können basierend auf dem Darcyversuch im Labor quantifiziert werden [Rüther et al. 2013]. Die Ergiebigkeit von Filterelementen, die sich auf die Absenkung pro Menge gefördertem Wasser bezieht, kann allerdings nur in Feldversuchen untersucht werden. Hierbei wird beabsichtigt, die Veränderung der Leistung mit der Zeit in den einzelnen Brunnen zu beobachten. Dies ist wichtig in Bezug auf Brunnenalterung und eventuelle Brunnenregenerierung oder –sanierung. So stellt die Quantifizierung des Leistungsrückgangs eines Brunnens die maßgebliche Grundlage für die Entscheidung, ob und wann der Brunnen regeneriert werden soll, dar [DVGW 2007].

Brunnenfiltersysteme für oberflächennahe Anwendungsgebiete bestehen meist aus Polyvinylchlorid (PVC). Sie werden als Vollrohre hergestellt und anschließend durch Schlitzung oder Lochung zu Filterrohren weiterverarbeitet. Poröse Filter dahingegen aus hochdichtem Polyethylen (HD-PE) werden auf andere Art hergestellt. Durch Vernetzung einzelner Polyethylengranulatkörner mittels Sinterung bei 140 bis 240°C entsteht eine Struktur, die der dichtesten Kugelpackung im Aquifer gleicht. Dieser Sintervorgang im Anfangsstadium ermöglicht relative Dichten von maximal 70 %, also Porenräume von bis zu 30 % [Sass et al. 2012].

Zur Charakterisierung der hydraulischen Leistung verschiedener Brunnenfilter wurde ein Testfeld in Aschaffenburg angelegt. Hier wurden fünf Brunnen mit einer Gesamttiefe von vier Metern, bei der die Filterstrecke zwei Meter beträgt, installiert. Der Untergrund ist durch einen teilgespannten Aquifer mit einem Flurabstand von 1,0 m charakterisiert. Es handelt sich um einen enggestuften Mittelsand mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $3,2 \cdot 10^{-4}$ m/s. Im Hangenden steht eine anthropogene Auffüllung von 1,2 m an, deren Kornverteilung einem weitgestuften Sand gleicht und eine Durchlässigkeit von $6,5 \cdot 10^{-4}$ m/s innehat.

Im Jahr 2011, 2012 und 2013 wurde Leistungspumpversuche mit fünf oder drei Pumpstufen in Aschaffenburg durchgeführt. Durch Analyse der Daten nach Bierschenk können der Absenkung laminare und ein turbulente Anteile zugeordnet werden. Turbulente Absenkung tritt brunnenspezifisch auf, wohingegen der laminare Anteil der Absenkung durch den Grundwasserleiter charakterisiert ist [Treskatis et al. 1998]. Außerdem ist es möglich, den Leistungsrückgang im Laufe der Zeit in den einzelnen Brunnen miteinander zu vergleichen. Durch erhöhte Mangankonzentrationen im Grundwasser ist ein drastischer Verlust erkennbar. Untersuchungen der Filterelemente im Labor bestätigen die Ergebnisse im Feld.

DVGW DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES e.V. (2007): DVGW-Regelwerk: Arbeitsblatt W 130 Brunnenregenerierung - Oktober 2007. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser (WVGW): 35 S.; Bonn.

DVGW DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES e.V. (2005): DVGW-Regelwerk: Arbeitsblatt W 118 Bemessung von Vertikalbrunnen - Juli 2005. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser (WVGW): 35 S.; Bonn.

RÜTHER, J., HEIDENREICH, S., WALCH, A., SASS, I. (2013): Research and Development of porous, high-density polyethylene screens for shallow geothermal wells.- EGC 2013 European Geothermal Congress; Pisa, Italy (Poster).

SASS, I., RÜTHER, J., HOMUTH, S., HEIDENREICH, S., WALCH, A. (2012): Entwicklung und Untersuchung poröser, hochdichter Polyethylen -Filterelemente für Brunnenanlagen.- FH-DGG Jahrestagung. Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften/Fachsektion Hydrogeologie; Dresden.

TRESKATIS, C., VOLGNANDT, P., WESSOLLEK, H., PURONPÄÄ-SCHÄFER, P., GERBL-RIEGER, S., BLANK, K.-H. (1998): Anforderungsprofile an den wirtschaftlichen Bau und Betrieb von Bohrbrunnen, Grundwasser-Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 3/98: 117-128; Berlin Heidelberg.

O 15.13: H36, NWIII, 28.05.2014, 17:00-17:20

Berechnung von Temperaturfahnen im Grundwasser am Beispiel zweier Grundwasserwärmepumpen in Lienz, Österreich

CORNELIA STEINER¹

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

Kontakt: steinerco@stud.sbg.ac.at

Grundwasserwärmepumpen (GWP) nutzen die im Grundwasser gespeicherte Wärme als erneuerbare Energiequelle zum Heizen und Kühlen von Gebäuden. Grundwasser wird aus einem Entnahmehrunnen über einen Wärmetauscher geleitet und gelangt über einen Infiltrationsbrunnen zurück in den Aquifer. Die Temperatur des infiltrierten Wassers ist im Heizbetrieb niedriger und im Kühlbetrieb höher, als die umgebende Grundwassertemperatur. GWP greifen durch diese

Temperaturänderung in das Grundwassersystem ein. Es besteht daher die Notwendigkeit entsprechender Gesetze, um den Grundwasserschutz gewährleisten zu können und um eine Beeinträchtigung fremder Wasserrechte zu vermeiden.

Für GWP in Österreich wird dies vom Regelblatt 207-2 des ÖWAV (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband) vorgegeben, in dem einer der signifikanten Punkte die Temperaturspreizung zwischen entnommenem und eingespeistem Wasser ist. Die vom Infiltrationsbrunnen ausgehende Temperaturdifferenz muss bei Erreichen einer stromabwärts gelegenen Grundwassernutzung auf < 1 K gesunken sein. Für diese Vorgabe ist eine genaue Kenntnis der Temperaturfahne essenziell, allerdings ist deren Berechnung kompliziert, da viele Parameter einfließen müssen, die teilweise schwer bestimmbar bzw. mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Eine 1992 entwickelte Methode (Rauch, 1992) bildet die Grundlage für das Regelblatt 207-2, mit der die Temperaturfahnen für Anträge zur Errichtung von GWP modelliert werden. Die berechneten Temperaturfahnen, und daher auch das zu Grunde liegende Berechnungsmodell, werden allerdings in der Praxis nur selten verifiziert, dies trifft speziell auf industrielle Hochkapazitätsanlagen zu.

In Lienz, Österreich, wird die Berechnungsmethode anhand zweier industrieller Großanlagen geprüft. Aus der Berechnung gemäß Regelblatt 207-2 ergaben sich sehr lange Temperaturfahnen, die abstromig situierte Wasserrechte beeinträchtigen würden und daher eine Errichtung der Anlage verhindert hätten. Auf Grund der Tatsache, dass die abstromig gelegenen privaten Brunnen nur etwa 10 m in den Aquifer eingreifen und das Wasser im Infiltrationsbrunnen in einer Tiefe von etwa 60 m versickert wird, wurden die GWP unter Auflage einer Beweissicherung der Temperaturen in den privaten Brunnen dennoch bewilligt. Die Beweissicherung ergab keine Beeinflussung der Grundwassertemperatur durch die GWP auf die Brunnen, was den Schluss zulässt, dass die Temperaturfahne tatsächlich kürzer ist und die Berechnung nach Regelblatt 207-2 in diesem Fall offenbar nicht anwendbar ist. Das Ziel der Arbeit ist es, die Methode zu verbessern, in dem zunächst die Parameter des Berechnungsmodells auf Fehlerquellen analysiert werden. Eine zusätzliche Grundwassermessstelle zwischen Infiltrationsbrunnen und nicht beeinflussten abstromigen Nutzungen soll dabei helfen, die Modellannahmen entsprechend den Beobachtungen anzupassen. Die Arbeit liefert damit eine Grundlage zur Verbesserung des relevanten Regelwerkes.

Rauch, W. (1992): Ausbreitung von Temperaturanomalien im Grundwasser. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen, Universität Innsbruck.

ÖWAV (2008): ÖWAV-Regelblatt 207-2, Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen. ÖWAV; Wien.

Hydrogeologische Versuchsanlage zur Durchführung von Transport- und Wärmeleitfähigkeit-Tests unter verschiedenen hydrologischen Randbedingungen

HANS-MARTIN HAUPT¹, STEFANIE MOCK¹, RONNY LÄHNE¹, WOLFGANG GOSSEL¹

¹ Fachgebiet Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle

Kontakt: wolfgang.gossel@geo.uni-halle.de

Die räumliche und modellhafte Darstellung von Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern erfolgt meist rechnergestützt und kann sowohl 2D als auch 3D sein. Eine weitere Möglichkeit in diesem Kontext stellt die hier vorgestellte hydrogeologische Versuchsanlage dar.

Es wurde ein physisches, kleinskaliges Modell konzipiert, um ein besseres Verständnis für die ablaufenden Prozesse von verschiedenen Feldversuchen zu bekommen. Dabei reichen die Versuchsbeispiele von der einfachen Darstellung von Grundwasserleiter- und Nichtleiter, bis hin zu elektronisch gesteuerten Tracer- und Wärmefluss-Versuchen. Experimente zu anderen Themen können beliebig geplant und in der Versuchsanlage verwirklicht werden. Änderungen der Modellgeometrie, sowie der Messstellengeometrie sind in kurzer Zeit durchführbar, womit der generelle Versuchsaufbau sehr variabel sein kann. Mit dem Modell ist es möglich, relativ schnell Zusammenhänge von Grundwasserhydraulik und -dynamik zu verstehen und auf die Realität anzuwenden. Auswirkungen von definierten Ereignissen wie z.B. Hochwasser und einhergehende Grundwasser- Oberflächenwasserinteraktionen können somit besser quantifiziert und untersucht werden.

Für die bereits durchgeführten Tracer- Wärmeleitfähigkeits- und Pumpversuche wurde die Anlage mit Feinkies befüllt und in logarithmischen Abständen mit Messstellen bestückt. Der Tracerversuch wurde mit Natriumchlorid, der Wärmetransportversuch mit 55°C heißem Wasser, durchgeführt. Es konnte im konzipierten Aquifermodell nachvollzogen werden, dass je größer die Fließstrecke und Fließzeit ist, umso mehr Wärme sorptiv verloren geht und desto flacher und breiter werden die Durchgangskurven des Tracers. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Abstandsgeschwindigkeit des Tracers ungefähr das Doppelte der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wärme beträgt.

Die ermittelten Ergebnisse entsprechen im Allgemeinen den Erwartungen und Berechnungen. Somit wurde nachgewiesen, dass die Versuchsanlage qualitativ als auch quantitativ aussagekräftig ist. Daher können auch andere grundlegende Versuchsansätze erforscht, untersucht und weiter entwickelt werden.

Des Weiteren ist es möglich räumlich orientierte Messungen zur elektrischen Leitfähigkeit, Temperaturverteilung und zur Geophysik durchzuführen.

Hydrogeologie glazial übertiefer alpiner Täler am Beispiel des Salzburger Beckens, Österreich

MICHAELA MAISLINGER¹

¹ Fachbereich Geographie und Geologie, Uni Salzburg

Kontakt: Michaela.Maislinger@stud.sbg.ac.at

Alpine Talräume sind einerseits wichtige Siedlungsgebiete innerhalb der Alpen und bilden andererseits häufig ergiebige Porengrundwasserkörper, die oft von großer Bedeutung für die lokale oder regionale Wasserversorgung sind. Um Konflikte zwischen dem Siedlungsdruck einerseits und den Schutzerfordernissen für die Trinkwasserversorgung andererseits zu vermeiden, ist eine detaillierte Kenntnis des Grundwasserregimes hier von besonderer Bedeutung.

Das glazial übertiefe Salzburger Becken am Nordrand der nördlichen Kalkalpen wurde nach dem Rückzug der letzten Vereisung mit fluviatilen Sedimenten der Salzach aufgefüllt, die nun einen mehrere Zehnermeter mächtigen ergiebigen Porengrundwasserkörper bilden. Aufgrund der großen Bedeutung dieses Porengrundwasserkörpers für die Wasserversorgung des dicht besiedelten Salzburger Beckens wurde dieser bereits vor Jahrzehnten anhand von zahlreichen Grundwassermessstellen untersucht. Neben der Dotation durch einen zeitweise zur Gänze versickernden Seitenzubringer der Salzach bildet eine mögliche Entkopplung des Grundwassers von der Salzach eine Besonderheit in diesem Talraum. Da seit dem Zeitpunkt der früheren Untersuchungen zahlreiche neue Untergrundaufschlüsse und Grundwassermessstellen hinzugekommen sind, soll die Beziehung zwischen den Oberflächengewässern und dem Porengrundwasserkörper auf Basis aller aktuell verfügbaren Grundwassermessstellen neu untersucht werden.

Der Tauglbach, als östlicher Zufluss zur Nord-Süd-verlaufenden Salzach, entspringt im Tauglboden aus kalkalpinen Einheiten der Osterhorngruppe. Bei seinem Eintritt in den Talraum des Salzburger Beckens versickern große Mengen des Tauglwassers und dotieren den generell N-S-gerichteten Grundwasserbegleitstrom der Salzach. Zeitweise fällt der Zufluss beim Eintritt in die fluviatilen Schotter komplett trocken.

Auf Basis früherer Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass die Salzach in diesem Flussabschnitt vollkommen kolmatiert ist und dass das Grundwasser zwischen Hallein und Golling unter der Salzach hindurchfließt und ein Grundwasserfeld am westlichen Salzachufer speist.

In der präsentierten Arbeit wird mit Hilfe der aktuell verfügbaren Messstellen sowie einem dichten Netz an geologischen und hydrogeologischen Aufschlüssen im Projektraum eine Neubewertung der hydrogeologischen Situation durchgeführt. Dabei wird der Einfluss der Tauglversickerung und weiterer Seitenzubringer auf die Grundwasserströmung des vom Bluntautal und Paß Lueg herströmenden Grundwasserbegleitstroms der Salzach sowie die Frage der Kolmation der Salzach und damit einhergehend die Talquerung des Grundwasserstromes mithilfe von quantitativen und qualitativen Grundwasserbetrachtungen untersucht.

Basis für die Erstellung des hydrogeologischen Modells bildet ein exaktes geologisches Modell, das alle verfügbaren Untergrundinformationen berücksichtigt.

Modellierung des Abbauverhaltens von Nitrat in der hyporheischen Zone

STEFAN PRINZ¹, SVEN FREI¹

¹ Hydrologie Uni Bayreuth

Kontakt: s2stprin@stmail.uni-bayreuth.de

Die Flächen entlang des Roten Mains flussabwärts von Bayreuth sind landwirtschaftlich genutzt und dementsprechend gedüngt. Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung des Transports des durch die Düngung in das Grundwasser eingebrachten Nitrats sowie des Abbaus des Nitrats in der hyporheischen Zone anhand eines Computermodells, welches mit der Modellierungssoftware Hydrogeosphere erstellt wurde. Dazu wurde zunächst mit Hilfe einer geologischen Karte der grobe Verlauf des Reliefs und die Art des anstehenden Gesteins ermittelt. Das Relief war mit Hilfe der Software „Gridbuilder“ in einer entsprechenden Griddatei zu digitalisieren. Literaturwerte der Nitratkonzentration, der Abbauraten, der hydraulischen Leitfähigkeit sowie Werte des Wasserwirtschaftsamts Hof zu Niederschlägen und Pegelständen liefern die numerischen Grundlagen, auf deren Basis das Modell schließlich arbeitet. Als Ergebnis erhält man Kurven, auf denen die am Fluss ankommende Masse an Nitrat gegen die Zeit aufgetragen ist, sogenannte Durchbruchkurven. Zunächst wurde durch das Modell die Verweildauer verschiedener konservativer Tracer unter verschiedenen Niederschlagssituationen und verschiedenen Steigungsverläufen simuliert, um die Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit bzw. der Verweildauer von den eben genannten Faktoren zu ermitteln. Im weiteren Verlauf wurde anstelle von den konservativen Tracern mit in der hyporheischen Zone reaktivem Nitrat gearbeitet, von welchem bei der anschließenden Analyse die nach einem Jahr am Fluss ankommenden Masse einerseits sowie die in der hyporheischen Zone abgebaute Masse andererseits ausgewertet wurden. Auf diese Weise lässt sich ermitteln, inwiefern die Ausdehnung der hyporheischen Zone relativ zur gedüngten Fläche angepasst werden muss, um durch den ausreichenden Abbau von Material die Ankunft des Stoffes am Fluss in einem Rahmen zu halten.

Entwicklung einer räumlich und zeitlich hochauflösenden Unterwasserdrucksonde zur Erfassung von Slug & Bail Tests in High-K Aquiferen

KLÖDWIG SEIBERTZ¹, MAX KÖHNE², RONNY LÄHNE¹, WOLFGANG GOSSEL¹

¹ Fachgebiet Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle/Wittenberg (MLU) Institut für Geowissenschaften Fachbereich Hydro- und Umweltgeologie

² Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Abteilung für Bodenphysik

Kontakt: ksos@gmx.net

Der Slug & Bail Test, erstmals vollständig beschrieben von Hvorslev (1951), ist einer der einfachsten Versuche zur Ermittlung der hydraulischen Leitfähigkeiten in oberflächennahen Lockergesteinaquiferen. Er beruht auf der Auswertung des Abklingens künstlich erzeugter Druckspiegelschwankungen über die Zeit. Um die benötigte Wasserstandsänderung hervorzurufen, werden Druckluft oder Verdrängungskörper eingesetzt. Die Erfassung der Wasserstandsänderungen

erfolgt heutzutage überwiegend über Druckmesszellen.

Die durch seine einfache Durchführbarkeit bewirkte weite Verbreitung führte zu intensiver Weiterentwicklung des Versuches, um ihn an unterschiedlichste Aquiferumgebungen anzupassen. Hoch durchlässige Aquiferumgebungen ($K \geq 1e-3$ m/s) erfordern dabei besondere Anforderungen an Messtechnik und Auswertung. Spezielle Modelle wie von Springer und Gelhar (1991) und McElwee u. a. (1992) erlauben es dem Spektrum möglicher Signalantworten aus High-K Umgebungen gerecht zu werden.

Das schnelle Abklingen des Signals erzwingt dabei häufig eine Vergrößerung der Aufhöhung bzw. Absenkung in der praktischen Versuchsdurchführung. Große Auslenkungen der Wassersäule führen jedoch zu Problemen wie Reibungsverlusten an der Brunnenwandung, welche zur Verfälschung der K-Wertabschätzung führen.

Eine Möglichkeit, diese Problematik zu umgehen ist die Verwendung von räumlich und zeitlich hochauflösender Messtechnik. Aus diesem Grund wurde eine Drucksonde entworfen, welche eine Datensammelrate von 96 Hz hat bei einer räumlichen Auflösung von 0,38 mm. Die Abmessungen des Prototypen erlauben den Einsatz in Messstellen von ≥ 2 “ Durchmesser. Die Datenaufzeichnung erfolgt dabei mit handelsüblichen PC-Systemen, welche über eine RJ-45 Schnittstelle mit der Sonde über Ethernet (TCP/IP) kommunizieren. Der Druck wird differentiell gegen die Atmosphäre gemessen. Auf diese Weise entfallen getrennte Luftdruckmessungen. Der Prototyp wurde erfolgreich in einem hoch durchlässigen Aquifer nahe der Ortschaft Thürungen (Sachsen-Anhalt) getestet. Die ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten lagen im Bereich von $1e-3$ m/s und entsprechen damit der zu erwartenden geologischen Gegebenheit.

Die erhobenen Daten zeigen, dass der Prototyp die kommerziell erwerbbar Vergleichssonde in Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit einzelner Messreihen sowie den ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten übertrifft unter gleichzeitiger Verwendung kleinerer Aufhöhungen.

HVORSLEV, M. J.: Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations / Waterways Experiment Station Corps of Engineers, U.S. Army. 1951

MCELWEE, C. D.; BUTLER, JAMES J. J.; BOHLING, G. C.: Nonlinear analysis of slug tests in highly permeable aquifers using a Hvorslev-type approach. *Kans. Geol. Survey, Open File Repository* (1992)

SPRINGER, R. K. ; GELHAR, L. W.: Characterization of large-scale aquifer heterogeneity in glacial outwash by analysis of slug tests with oscillatory responses. *U.S. Geol. Surv. Water Resources Inv. Rep.* (1991)

P 15.6

Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit

KATHARINA STORZ¹, VALENTIN WAGNER¹, HAGEN STEGER¹, PHILIPP BLUM¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: Katharina.Storz@gmail.com

Die genaue Kenntnis der hydraulischen Leitfähigkeit (k_f -Wert) ist Voraussetzung zur Untersuchung von Grundwasserströmungen und Grundlage für numerische Strömungsmodellierungen. Zur Ermittlung des k_f -Wertes existieren daher zahlreiche Labor- und Feldmethoden. Die Ergebnisse dieser Methoden können zu deutlich unterschiedlichen k_f -Werten führen. Um die Variabilität

zwischen unterschiedlichen Bestimmungsverfahren zu quantifizieren, wurden vier Methoden mithilfe eines künstlichen Aquifers im Labor verglichen. Dieser künstliche Aquifer ist Teil eines Tankexperiments (Abbildung 1). Der Versuchsaufbau besteht aus einem Tank, in dem zwei Schichten Quarzsand (Dorsilit) mit einer dazwischen liegenden Tonschicht eingebaut sind. Das hydraulische Potential des Aquifers kann nach Belieben eingestellt werden, um einen definierten Durchfluss durch den Tank zu ermöglichen.

Ziel dieser Arbeit ist ein Vergleich folgender vier Methoden zur Bestimmung des k_f -Wertes: (1) Siebkurvenanalysen, (2) Permeameterversuche, (3) Berechnung mithilfe der Porosität und (4) Durchflussversuche. Dabei werden die aus diesen Methoden resultierenden Abweichungen und Messunsicherheiten quantifiziert. Zum einen erfolgt die k_f -Wert Bestimmung des Aquifers nach den in Matthes et al. (2012) durchgeführten Methoden zur Korngrößenanalyse (z. B. Hazen, 1893). Des Weiteren wird ein Permeameterversuch nach DIN 18130-1 durchgeführt. Die dritte Bestimmungsmethode nach Kozeny-Carman basiert auf der im Labor bestimmten Porosität. Eine vierte k_f -Wert Bestimmung erfolgt anhand von Durchflussmessungen an diesem künstlichen Aquifer über einen Zeitraum von zwei Monaten.

Die ermittelte Spannbreite aller k_f -Werte wird als Grundlage zur Kalibrierung eines dreidimensionalen numerischen Strömungs- und Transportmodells des Tankversuches verwendet. Im Zuge der Kalibrierung wird die hydraulische Durchlässigkeit des Aquifers variiert, um eine möglichst präzise Übereinstimmung zwischen simuliertem und gemessenem Durchfluss zu erreichen. Das Ergebnis der Kalibrierung mit einer Durchlässigkeit von $4,72 \cdot 10^{-4}$ m/s liegt annähernd im Median aller Messergebnisse. Die Abweichungen der bestimmten k_f -Werte vom Minimum betragen im Mittel 71%.

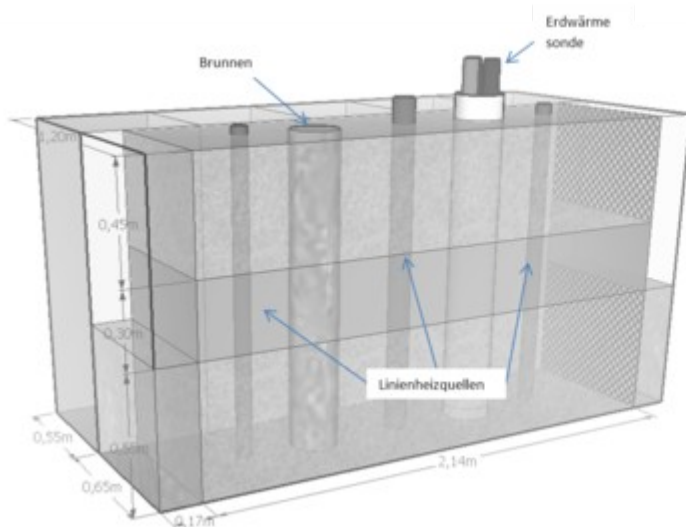


Abbildung 1: Versuchsaufbau des Tankexperiments an dem verschiedene Durchflussversuche durchgeführt wurden. Die untere und obere Schicht besteht aus Quarzsand, dazwischen liegt eine Ton-schicht. In diesem künstlichen Aquifer befinden sich zwei Bohrlöcher für den Einbau von Erdwärme-sonden, sowie drei Linienheizquellen und Temperatursensoren.

Im Vergleich dazu beschreiben Matthes et al. (2012) einen Ringversuch, bei dem Siebkurvenanalysen von sieben Bodenproben von verschiedenen Laboren mittels sechs

verschiedener Auswerteverfahren analysiert wurden. Die Spannbreite der resultierenden k_f -Werte liegt bei bis zu 350%. Wie zu erwarten zeigt diese Studie, dass die unterschiedlichen Methoden mit ihren unterschiedlichen Annahmen zu stark variierenden k_f -Werten führen. Des Weiteren zeigt der Vergleich zu Matthes et al. (2012), dass der experimentelle Ablauf, der zwischen Laboren variiert, einen größeren Einfluss auf die resultierenden Werte nehmen kann, als der Einfluss, den variierende Methoden auf die Ergebnisse hat. Demnach sollte bei der k_f -Wert Bestimmung auf einen einheitlichen Ablauf der Versuchsdurchführung geachtet werden.

Hazen, A.: Some physical properties of sand and gravels, with special reference to their use in filtration. Annual report Massachusetts State Board of Health, S. 541-556 (1893)

Matthes, K., Nusche, H., Dietrich, P. & Vienken, T.: Auswirkungen von Messunsicherheiten bei der Korngrößenanalyse auf die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes. Grundwasser, 17, S. 105-111 (2012).

Storz, K.: Technikums Versuch zu Wärmetransport und Qualitätssicherung von Erdwärmesonden. Master Thesis (unveröffentlicht). Karlsruher Institut für Technologie; (2013)

P 15.7

Modelling perched groundwater by using different numerical solution techniques

TONY TRONNIER¹

¹ Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg

Kontakt: tonytronnier@web.de

Modelling perched groundwater in a graben structure is investigated by a software comparison. Therefore conceptual site models are established. The array of modeling reaches numerical finite difference, finite elements and also finite volume approaches. As representative and objective facts pre- and post processing, visualisation as well as accuracy and robustness shall be taken into consideration.

Due to dewatering of deeper aquifers in a mining area, multiple level of groundwater bearing horizons are shifted to unsaturated zones. Near surface groundwater is not affected based on bowl structure of the upper aquiclude. Dewatered underground structures may cause dry cells in modelling programs. As example, MODFLOW-2000 (McDonald & Harbaugh) allows to rewet cells and then reintroduce them into the solution during next iteration. Thereby numerical instability and convergence issues may appear. So cells shall be preserved from getting dry (McDonald et al. 1992).

Software applicability for modeling vadose zone and perched groundwater was examined in several field studies and with regard to different MODFLOW code extensions (Bedekar et al., 2012; Kumar et al., 2008; Panday et al., 2008; Jackson et al., 2005; McDonald and Harbaugh). Also non integrated codes and theoretical approaches are carried out (Sailhac et al., 2009; Panday et al., 1993; Velasquez et al., 2007; Malama et al., 2007).

For accurate modelling of groundwater behaviour close to nature approaches are provided. Furthermore comparable hydrogeological technical contributions as described in Carter et al. (2012); Sailhac et al. (2009) and Hernández et al. (2012) are studied. Later, input data are

processed for software comparison. Different numerical approaches as mentioned before are confronted.

By using a code extension for the standard MODFLOW-2000 code all three chosen programs (MODFLOW (McDonald & Harbaugh), FEFLOW (DHI-WASY GmbH), PCGEOFIM (Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH)) are able to reproduce and handle prescribed situation.

The presented work can be seen as a summary for modelling perched aquifers and as basic application of different numerical codes for modeling stated task. The work could be a guideline for decision-making process and also for inexperienced modellers with respect to presented topic.

Vivek Bedekar, Richard G. Niswonger, Kenneth Kipp, Sorab Panday, and Matthew Tonkin (2012) Approaches to the Simulation of Unconfined Flow and Perched Groundwater Flow in MODFLOW. *GROUND WATER*, Vol. 50, No. 2: pp. 187–198, accessed 25.10.2013

Navin Kumar C. Twarakavi, Jirka Simunek, Sophia Seo (2008) Evaluating Interactions between Groundwater and Vadose Zone Using the HYDRUS-Based Flow Package for MODFLOW. *Vadose Zone J.* 7, No. 2: pp. 757–768, accessed 25.10.2013

Pascal Sailhac, Maksim Bano, Mickael Behaegel, Jean-François Girard, Ester Falgàs Para, Juanjo Ledo, Guy Marquis, Pierre-Daniel Matthey, José Ortega-Ramírez (2009) Characterizing the vadose zone and a perched aquifer near the Vosges ridge at the La Soutte experimental site, Obernai, France. *Elsevier, C. R. Geoscience* 341: pp. 818- 830, accessed 23.09.2013

Bwalya Malama, Kristopher L. Kuhlman, Warren Barrash (2007) Semi-analytical solution for flow in leaky unconfined aquifer–aquitard systems. *Elsevier, Journal of Hydrology* 346: pp. 59– 68, accessed 23.09.2013

David Pulido-Velazquez, Andrés Sahuquillo, Joaquin Andreu, Manuel Pulido-Velazquez (2007) A general methodology to simulate groundwater flow of unconfined aquifers with a reduced computational cost. *Elsevier, Journal of Hydrology* 338: pp. 42– 56, accessed 23.09.2013

J. J. Carrera-Hernández, B.D. Smerdon, C.A. Mendoza (2012) Estimating groundwater recharge through unsaturated flow modelling: Sensitivity to boundary conditions and vertical discretization. *Elsevier, Journal of Hydrology* 452–453: pp. 90–101, accessed 08.10.2013

JACKSON, C. (2005) Modelling leakage from perched rivers using the unsaturated flow model VS2DTI. *British Geological Survey Internal Report, IR/05/019.* 38

List of Authors

Achten, Christine: [P 12.9](#)
Achtziger, P.: [P 2.1](#)
Agster, Gottfried: [O 1.11](#)
Aisopou, Angelina: [KeyNote 2](#)
Al Ajmi, Hussain: [O 10.1](#), [P 10.9](#)
Albert, Katharina: [P 11.4](#)
Alberto, Bellin: [O 1.4](#)
Alene, Mulugeta: [P 2.12](#)
al Hagrey, Said Attia: [O 11.5](#), [P 11.3](#), [P 11.6](#)
Al-Saud, Mohammed: [O 10.5](#), [P 10.6](#), [P 10.11](#)
Andrea, Richts: [O 13.5](#)
Andreas, Günther: [O 13.5](#)
Anibas, Christian: [O 6.13](#), [O 8.6](#)
Asmuß, Tina: [O 6.7](#)
Assefa, Kibreab: [O 3.6](#)
Augenstein, Michael: [P 3.3](#)
Ayenew, Tenalem: [P 2.12](#)
Back, Martin: [P 12.10](#)
Baier, Alfons: [P 11.2](#), [P 13.2](#)
Baillieux, Antoine: [P 4.1](#)
Banning, Andre: [P 12.1](#)
Bär, Kristian: [O 11.6](#)
Barenth, Franz: [P 8.9](#)
Barnewold, Dietmar: [P 11.1](#)
Barth, Johannes: [O 15.3](#), [P 6.1](#), [P 11.2](#), [P 11.12](#)
Barth, Johannes AC: [O 11.4](#)
Barth, Johannes A.C.: [O 6.12](#), [P 6.8](#), [P 13.2](#)
Barth, Johannes A. C.: [P 6.9](#)
Bassis, Alexander: [P 10.6](#)
Batelaan, Okke: [O 6.13](#)
Batz, Anne: [P 6.1](#), [P 6.9](#)
Bauer, Sebastian: [O 11.1](#), [O 11.7](#), [P 10.5](#), [P 11.3](#), [P 11.5](#), [P 11.8](#), [P 11.11](#)
Baumann, Patricia: [O 13.2](#)
Baumann, Thomas: [O 3.2](#), [P 6.15](#), [P 8.9](#), [P 8.10](#), [P 11.7](#)
Bayer, Peter: [O 8.2](#), [O 8.5](#), [O 15.9](#), [P 3.4](#), [P 8.2](#)
Becker, Bernhard: [O 6.5](#), [P 6.19](#)
Becker, Veith: [P 11.12](#)
Beer, Antje: [P 2.11](#)
Benisch, Katharina: [P 11.3](#)
Benz, Susanne: [O 8.5](#)
Bergmann, Axel: [O 12.5](#), [O 14.3](#), [P 12.7](#)
Berta, Marton: [O 15.1](#)
Bethge, Ekkehart: [P 8.6](#)
Beulig, Feix: [P 6.11](#)
Beyer, Christof: [O 11.1](#), [O 11.7](#)

Bichler, Andrea: [O 6.10](#)
Binder, Martin: [O 15.2](#), [P 12.3](#)
Binning, Philip J.: [KeyNote 2](#)
Birk, Steffen: [O 1.1](#), [O 2.1](#)
Bisch, Gerhard: [O 8.2](#)
Bjerg, Poul Løgstrup: [KeyNote 2](#)
Blehschmidt, Ingo: [O 2.6](#)
Blum, Philipp: [O 8.2](#), [O 8.5](#), [O 12.1](#), [O 15.9](#), [P 3.4](#), [P 8.2](#), [P 15.6](#)
Böhm, Anna Katharina: [O 13.1](#), [O 13.2](#)
Bohnsack, Daniel: [O 8.4](#)
Boockmeyer, Anke: [P 11.8](#)
Bosch, Julian: [O 12.6](#)
Böttcher, Norbert: [P 11.9](#)
Brauch, Heinz-Jürgen: [O 6.11](#)
Brauchler, Ralf: [O 1.2](#), [O 15.9](#)
Bremermann, Rebecca: [O 6.7](#)
Brendlé, Jocelyne: [O 2.6](#)
Britz, Susan: [P 3.2](#)
Brodsky, Jan: [O 14.1](#)
Broers, Hans Peter: [P 6.19](#)
Bruckmann, Johanna: [P 2.2](#)
Brunner, Philip: [P 4.1](#)
Bruthans, Jiri: [P 9.2](#), [P 12.6](#)
Büchel, Georg: [P 6.14](#)
Buermann, Christoph: [P 10.10](#)
Burghardt, Diana: [O 13.2](#), [O 15.2](#)
Burke, Victoria: [O 6.7](#)
Burs, David: [P 2.2](#)
Butscher, Christoph: [O 1.3](#)
Büttner, Olaf: [P 6.17](#)
Casper, Susanne: [O 8.4](#)
Čermák, Pavel: [O 13.3](#)
Chambon, Julie: [KeyNote 2](#)
Chang, Liu: [P 12.3](#)
Chaudhary, Sandip: [O 15.7](#)
Chauhan, Swarup: [O 11.6](#)
Chavez-Kus, Lilian: [P 9.11](#)
Chen, Zhao: [O 2.3](#)
Christian, Scholz: [P 6.16](#)
Cirpka, Olaf: [O 1.4](#), [O 6.14](#)
Cirpka, Olaf A.: [O 15.5](#), [P 5.2](#)
Císlarová, Milena: [O 6.2](#)
Curik, Jan: [O 13.7](#)
Dahmke, Andreas: [O 11.1](#), [O 15.1](#), [O 15.6](#), [O 15.10](#), [P 11.11](#)
Damtew, Aychluhim Debebe: [P 10.2](#)
Daniel, Zentler: [P 6.16](#)
Darsow, Andreas: [O 8.3](#)
De Giudici, Giovanni: [P 6.14](#)

Demmel, Thomas: [O 6.9](#)
Dethlefsen, Frank: [O 11.1](#), [O 15.1](#), [P 11.11](#)
Deus, Nico: [P 5.1](#)
Dietrich, Peter: [O 1.6](#), [O 5.2](#), [O 8.1](#), [O 11.1](#), [P 8.2](#), [P 8.3](#), [P 12.3](#)
DIMITRIADIS, KLISTHENIS: [P 1.7](#)
Dirks, Heiko: [O 10.1](#), [P 10.9](#), [P 10.10](#)
Dirnberger, Daniel: [O 15.4](#)
Dong, Xinguang: [P 1.6](#)
Doro, Kennedy O.: [O 15.5](#), [P 5.2](#)
Dörr, Cordula: [O 15.6](#)
Dötschel, Christian: [P 6.5](#)
Drews, Michael: [P 1.1](#)
Drießen, Joachim: [O 1.5](#), [P 1.1](#), [P 5.5](#)
Droste, Björn: [P 12.4](#)
Dupalová, Tereza: [O 12.10](#)
Durner, Wolfgang: [O 3.1](#), [P 3.2](#)
Duscher, Klaus: [O 13.5](#)
Duttmann, Rainer: [O 11.1](#)
Ebert, Markus: [O 11.1](#), [O 15.1](#), [P 11.11](#)
Einsiedl, Florian: [O 12.3](#)
Elbracht, Jörg: [O 3.5](#), [P 5.1](#), [P 6.3](#)
Elmarami, Hatem: [P 6.12](#)
Engel, Nicole: [O 3.5](#)
Engelmann, Frank: [O 15.2](#)
Englert, Andreas: [O 5.3](#), [P 1.4](#), [P 5.3](#)
Enzmann, Frieder: [P 1.1](#), [P 5.5](#)
Epting, Jannis: [P 8.4](#)
Eulitz, Katja: [O 1.9](#)
Fank, Andreas: [O 1.6](#)
Fank, Johann: [O 1.6](#)
Feeser, Volker: [O 11.1](#)
Fenton, Owen: [O 12.1](#)
Fichtner, Thomas: [O 3.4](#)
Firmbach, Linda: [O 8.1](#), [P 8.3](#)
Fjordbøge, Annika S.: [KeyNote 2](#)
Fleckenstein, Jan: [O 6.6](#), [P 6.17](#)
Fleckenstein, Jan H.: [O 12.7](#), [P 6.18](#)
Florian, Eichinger: [O 11.8](#)
Fohrmann, Reinhard: [O 12.5](#)
Frank, Nadine: [P 8.9](#)
Frank, Sascha: [P 10.10](#)
Frank, Simon: [P 6.20](#)
Franz, Helmut: [O 4.2](#)
Frei, Sven: [P 6.2](#), [P 15.4](#)
Fritsche, Johann-Gerhard: [O 14.1](#), [P 2.11](#), [P 8.8](#)
Fritzsche, Andreas: [O 12.6](#)
Frommen, Theresa: [O 6.8](#), [P 6.13](#)
Fuchs, Sven: [P 1.5](#)

Fuest, Tobias: [O 10.1](#), [P 10.9](#)
Gabriele, Chiogna: [O 1.4](#)
Gaupp, Reinhard: [O 11.2](#)
Gerner, Alexander: [O 10.7](#)
Geyer, Tobias: [O 2.2](#), [O 2.5](#), [P 2.9](#)
Giese, Markus: [O 2.2](#)
Girmay, Ermias Hagos: [P 2.12](#)
Glaser, Stefan: [P 2.3](#)
Gläßer, Thomas: [O 15.3](#)
Göbel, Patricia: [P 1.5](#), [P 2.7](#), [P 2.10](#), [P 12.9](#)
Goldscheider, Nico: [O 2.3](#), [O 4.1](#), [O 9.3](#), [P 2.5](#), [P 3.3](#), [P 6.20](#)
Göppert, Nadine: [P 3.3](#)
Görke, Uwe: [O 11.1](#)
Görke, Uwe-Jens: [P 11.9](#)
Gossel, Wolfgang: [O 9.1](#), [P 2.8](#), [P 9.9](#), [P 12.5](#), [P 15.1](#), [P 15.5](#)
Göttlicher, Jörg: [P 12.10](#)
Gräber, Peter-Wolfgang: [O 3.4](#)
Graf, Thomas: [O 1.12](#)
Gralher, Benjamin: [P 3.1](#)
Grant, Jim: [O 12.1](#)
Greskowiak, Janek: [O 1.7](#), [O 6.7](#), [O 6.16](#)
GRESKOWIAK, JANEK: [P 1.7](#)
Grimm, Phillip: [P 12.8](#)
Grimmeisen, Felix: [O 9.3](#)
Gröschke, Maike: [O 6.8](#), [P 6.13](#)
Grützmacher, Gesche: [O 6.8](#), [P 6.13](#)
Gueting, Nils: [O 5.3](#)
Guttman, Joseph: [P 2.9](#)
Haberle, Jan: [P 13.1](#)
Hahn, Hans Jürgen: [O 13.2](#)
Hahn, Hans-Jürgen: [P 2.10](#)
Haimerl, Gerhard: [P 1.11](#)
Halla, Peter: [O 5.1](#)
Hanauer, Bernd: [O 2.4](#)
Händel, Falk: [O 1.6](#), [O 15.7](#), [P 8.4](#), [P 12.3](#)
Hangen, Edzard: [O 13.6](#)
Hanke, Christian: [P 6.9](#)
Hannappel, Stephan: [O 12.4](#)
Hasan, Issa: [O 3.4](#)
Haslauer, Claus: [P 1.8](#)
Haupt, Hans-Martin: [P 15.1](#)
Hauser, Wolfgang: [O 2.6](#)
Heck, Stephanie: [O 2.6](#)
Heggemann, Heiner: [O 14.1](#)
Heidt, Lena: [O 3.5](#)
Heilwagen, Martin: [O 9.1](#)
Heitfeld, M.: [O 14.2](#)
Heldmann, Claus-Dieter: [P 4.2](#)

Hellmann, Christiane: [P 6.22](#)
Helmig, R.: [O 14.2](#)
Hendriks, Dimmie: [O 6.4](#), [P 6.19](#)
Henkel, Steven: [O 11.2](#)
Henniger, Diana: [P 12.8](#)
Henning, Andreas: [O 9.2](#)
Henzler, Aline: [O 1.7](#)
Herbrich, Moritz: [P 8.9](#)
Herd, Rainer: [O 11.3](#)
Hergarten, Stefan: [O 1.1](#)
Herrmann, Frank: [O 3.5](#), [P 6.3](#)
Hilberg, Sylke: [O 4.3](#)
Hillebrand, Olav: [P 2.4](#)
Hiller, A.: [P 2.1](#)
Hintze, Simone: [P 6.1](#), [P 6.9](#)
Hoffmann, Michaela: [O 14.1](#)
Hoffmann, Nadine: [P 13.2](#)
Hofinger, Johann: [O 8.3](#)
Hofmann, T.: [P 12.11](#)
Hofmann, Thilo: [O 6.10](#)
Holländer, Hartmut: [O 3.6](#)
Holschumacher, Frank: [P 11.1](#)
Homuth, Sebastian: [O 11.6](#)
Hoogewoud, Jacco: [P 6.19](#)
Horan, Brendan: [O 12.1](#)
Horna, Frank: [O 13.1](#)
Horovitz, Marcel: [O 10.5](#)
Hottenrott, Martin: [O 14.1](#)
Hruska, Jakub: [O 13.7](#)
Hu, Rui: [O 1.2](#)
Huber, Florian: [O 1.8](#), [O 2.6](#)
Hübschmann, Mathias: [O 13.1](#), [P 2.11](#)
Huebsch, Manuela: [O 12.1](#)
Huenges, Ernst: [O 11.3](#)
Huggenberger, Peter: [P 8.4](#)
Hümmer, Oliver: [P 6.4](#)
Hunkeler, Daniel: [P 4.1](#)
Huysmans, Marijke: [O 8.6](#)
Iliev, Oleg: [P 1.1](#)
Ivleva, Natalia P.: [O 3.2](#), [P 6.15](#)
Jahnke, Christoph: [O 11.3](#)
Janetz, Silvio: [O 11.3](#)
Jankovec, Jakub: [O 6.2](#)
Jenn, Florian: [O 6.3](#)
Jolie, Egbert: [O 11.3](#)
Jordan, Isabel: [O 15.2](#)
Joris, Ingeborg: [O 6.13](#)
Jung, Martin: [O 15.9](#)

Jung, Stephan: [O 8.5](#)
Jung-Bilk, Sarah: [P 13.2](#)
Kadlecova, Renata: [P 12.6](#)
Kainzmaier, Barbara: [P 9.11](#)
Kalbus, Edda: [O 10.3](#)
Kalwa, Fritz: [P 10.5](#)
Kärcher, Thomas: [P 2.11](#)
Karlson, Ulrich G.: [O 9.4](#)
Kebede, Seifu: [P 2.12](#)
Keim, Bernhard: [P 1.11](#), [P 10.12](#)
Kempka, Thomas: [O 11.3](#), [P 11.10](#)
Kerl, Marco: [P 9.11](#)
Kersten, Michael: [P 1.1](#), [P 5.5](#)
Kinzelbach, Wolfgang: [O 2.8](#)
Kirchholtes, Hermann: [O 12.8](#)
Kissinger, A.: [O 14.2](#)
Kleebaum, Anja: [P 5.4](#)
Klingbeil, Ralf: [O 13.4](#)
Klinger, Jochen: [O 9.3](#)
Klitzsch, Norbert: [P 2.2](#)
Klocke, Ralf: [P 1.11](#)
Kludt, Christoph: [P 12.7](#)
Klünker, J.: [O 14.2](#)
Knapp, Dominique: [P 2.2](#)
Knapp, Julia: [O 6.14](#)
Knoll, Lukas: [P 9.5](#)
Knöller, Kay: [P 12.7](#)
Knorr, Bastian: [P 1.3](#)
Knuth, Christoph: [P 1.4](#)
Köber, Ralf: [O 11.1](#), [O 15.6](#), [O 15.10](#)
Koch, Alexander: [P 1.5](#)
Koch, Thomas: [P 6.21](#), [P 9.8](#)
Köhn, Daniel: [O 11.5](#), [P 11.3](#), [P 11.6](#)
Köhne, Max: [P 15.5](#)
Köhne, Maximilian: [O 10.5](#)
Koinzer, Frank: [O 6.3](#)
Kolditz, Olaf: [O 8.1](#), [O 11.1](#), [P 10.11](#), [P 11.9](#)
König, Diethard: [P 11.9](#)
König, Karsten: [P 6.21](#)
Kopf, Charlotte: [O 15.2](#)
Koproch, Nicolas: [O 15.10](#)
Kött, Anne: [P 8.8](#)
Kotyla, Patrick: [P 9.6](#), [P 9.11](#)
Kowol, Sigrid: [P 6.8](#)
Kracht, Matthias: [O 14.1](#), [P 8.8](#)
Kraller, Gabriele: [O 4.2](#)
Kram, Pavel: [O 13.7](#)
Krám, Pavel: [O 6.1](#)

Kramer, Stefanie: [P 9.8](#)
Krämer, Florian: [P 1.3](#)
Krause, Thomas: [O 13.2](#), [O 15.7](#)
Kreck, Manuel: [O 5.2](#)
Krentz, Ottomar: [O 13.1](#)
Krömer, Laura: [P 6.13](#)
Kübeck, Christine: [O 12.5](#)
Kühn, Melanie: [P 6.15](#)
Kühn, Michael: [O 11.3](#), [P 11.10](#)
Kühnel, Bernhard: [P 1.11](#)
Kuijper, Marijn: [O 6.4](#)
Kunkel, Ralf: [O 3.5](#), [P 6.3](#)
Kunstmann, Harald: [O 4.2](#)
Kunzová, Eva: [P 13.1](#)
Kurth, Anne-Marie: [O 4.4](#)
Küsel, Kirsten: [P 6.11](#)
Lafogler, Mark: [P 8.10](#)
Lagos, Markus: [O 2.6](#)
Lähne, Ronny: [O 9.1](#), [P 12.5](#), [P 15.1](#), [P 15.5](#)
Lakdawala, Zahra: [P 1.1](#)
Lamacova, Anna: [O 13.7](#)
Lang, Ulrich: [O 12.9](#)
Lange, T.: [O 14.2](#)
Lauber, Ute: [O 4.1](#), [P 2.5](#)
Laumann, S.: [P 12.11](#)
Lehmann, Robert: [O 8.7](#)
Lemke, Dennis: [O 6.14](#)
Lemke, Gabriele: [O 12.4](#)
Lemming, Gitte: [KeyNote 2](#)
Lensing, Hermann-Josef: [P 6.20](#)
Lerm, Stephanie: [O 11.8](#)
Leven, Carsten: [O 5.2](#), [O 15.5](#), [P 1.8](#), [P 5.2](#), [P 8.2](#)
Lewandowski, Jörg: [O 6.16](#)
Li, Ning: [P 1.6](#)
Li, Tao: [P 8.2](#)
Li, Wenpeng: [P 1.6](#)
Liao, Zijie: [O 6.14](#)
Licha, Tobias: [O 2.5](#), [P 2.4](#)
LICHA, TOBIAS: [P 1.7](#)
Liedl, Rudolf: [O 1.6](#), [O 2.2](#), [O 10.6](#), [O 15.2](#), [O 15.7](#), [P 8.4](#), [P 12.3](#)
Limberg, Alexander: [O 9.2](#)
Lins, Yvonne: [P 11.9](#)
Linzen, Sven: [P 6.14](#)
Lischeid, Gunnar: [O 6.1](#)
Löbmann, Stephan: [P 8.4](#)
Löw, S.: [P 2.1](#)
Luo, Junfeng: [O 1.9](#)
Mader, Michael: [O 6.12](#)

Magri, Fabien: [O 11.3](#)
Maier, Martin: [P 6.16](#)
Maier, Uli: [O 6.6](#), [P 6.18](#)
Maislinger, Michaela: [P 15.3](#)
Majdalani, Roula: [O 13.4](#)
Maloszewski, Piotr: [P 1.3](#)
Marchal, Geoffrey: [O 9.4](#)
Maréchal, Jean-Christophe: [O 2.2](#)
Marei, Amer: [P 2.9](#)
Margot, Isenbeck-Schröter: [P 6.16](#)
Marke, Thomas: [O 4.2](#)
Markus, Kübert: [O 8.2](#)
Markus, Wolfgramm: [O 11.8](#)
Martin, Andrew: [O 2.6](#)
Martin, Gevers: [P 5.3](#)
Massimo, Rolle: [O 1.4](#)
Massman, Gudrun: [P 6.12](#)
Massmann, Gudrun: [O 1.7](#), [O 6.7](#), [O 6.16](#)
MASSMANN, GUDRUN: [P 1.7](#)
Matzke, Dirk: [O 13.2](#)
Mäurer, Doreen: [O 12.2](#)
Mayaud, Cyril: [O 1.1](#), [O 2.1](#)
Mayer, Bernhard: [P 11.12](#)
McKnight, Ursula: [KeyNote 2](#)
Menberg, Kathrin: [O 8.5](#), [P 3.4](#)
Merkel, Broder: [P 10.13](#)
Merten, Dirk: [P 6.14](#)
Merz, Christoph: [O 6.1](#)
Merz, Ralf: [O 10.5](#), [P 10.11](#)
Metz, Christian: [O 3.2](#)
Meyer, Hanno: [P 6.12](#)
Meyer, Johannes: [O 15.11](#)
Meyer, Tammo: [P 6.5](#)
Michel, Linda: [O 13.2](#)
Michelsen, Nils: [O 10.5](#), [P 10.6](#), [P 10.11](#)
Mieseler, Tilman: [O 10.1](#), [P 10.9](#), [P 10.10](#)
Mikes, Jiri: [O 13.8](#)
Mixa, Petr: [P 12.6](#)
Mock, Stefanie: [P 15.1](#)
Moeck, Christian: [P 4.1](#)
Mohrlok, Ulf: [O 1.10](#)
Molinero, Jorge: [O 1.8](#)
Möller, Markus: [O 11.3](#)
Momose, Toshihiko: [P 8.1](#)
Monninkhoff, Bertram: [O 1.9](#), [P 6.21](#)
Moosdorf, Nils: [P 6.7](#)
Muellegger, Christian: [O 6.10](#)
Munoz, Gerard: [O 11.3](#)

Musolff, Andreas: [O 12.7](#), [P 6.17](#)
Myrntinen, Anssi: [O 11.4](#), [O 15.3](#), [P 11.12](#)
Myska, Oldrich: [O 13.7](#)
Nagel, Thomas: [P 11.9](#)
Nakaten, Natalie: [P 11.10](#)
NHAM, THI THUY HANG: [P 1.7](#)
Niessner, Reinhard: [O 3.2](#), [P 8.9](#), [P 8.10](#)
Nießner, Reinhard: [P 6.15](#), [P 11.7](#)
Nödler, Karsten: [P 2.4](#)
NÖDLER, KARSTEN: [P 1.7](#)
Nommensen, Broder: [P 2.11](#)
Noseck, Ulrich: [P 3.2](#)
Nowak, Martin: [O 11.4](#), [P 6.11](#)
Oehlmann, Sandra: [O 2.5](#)
Olmer, Miroslav: [P 12.6](#)
Paschiller, Anika: [O 15.2](#)
Patrik, Gebhardt: [P 5.3](#)
Patzelt, Arno: [O 15.5](#)
Peiffer, Stefan: [P 12.8](#), [P 12.10](#)
Pfeiffer, Wolf Tilmann: [P 11.5](#)
Pfützner, Bernd: [P 9.8](#)
Piepenbreier, Jens: [O 10.1](#)
Pletl, Christian: [P 8.9](#)
Poeschke, Franziska: [O 6.16](#)
Popp, Steffi: [O 11.7](#)
Prein, Angela: [O 10.4](#)
Prinz, Stefan: [P 15.4](#)
PTAK, THOMAS: [P 1.7](#)
Pudlo, Dieter: [O 11.2](#)
Rabbel, Wolfgang: [O 11.1](#), [O 11.5](#), [P 11.3](#), [P 11.6](#)
Radny, Dirk: [O 4.5](#)
RAHMAN, MOHAMMAD AZIZUR: [P 1.7](#)
Rausch, Randolph: [O 10.1](#), [O 10.5](#), [P 10.5](#), [P 10.6](#), [P 10.9](#), [P 10.10](#), [P 10.11](#), [P 10.12](#)
Reboulet, Ed: [O 5.2](#)
Reimann, Thomas: [O 2.2](#)
Reimus, Paul: [O 2.6](#)
Rein, Arno: [O 9.4](#), [P 9.5](#)
Reinke, Debora: [P 12.9](#)
Reinstorf, Frido: [P 9.8](#)
Reischmann, Thomas: [O 14.1](#), [P 8.8](#)
Remmler, Frank: [O 6.11](#)
Reutter, Evelin: [P 2.11](#)
Richards, Karl: [O 12.1](#)
Richter, Dominik: [P 6.20](#)
Richter, Kirstin: [O 6.11](#)
Rieger, Detlef: [P 6.22](#)
Rieger, Thomas: [P 11.4](#)
Riegger, Johannes: [O 10.2](#)

Riepler, Franz: [O 4.3](#)
Ries, Fabian: [P 2.9](#)
Ritter, Oliver: [O 11.3](#)
Rivera, Jaime: [O 15.9](#)
Rödiger, Tino: [P 10.13](#)
Röhm, Herbert: [O 3.5](#), [P 6.3](#)
Roland, Kersting: [P 5.3](#)
Römer, Marius: [P 2.7](#)
Röper, Tania: [O 6.16](#)
Rosenberg, Fred: [O 14.1](#)
Rüde, Thomas R.: [O 6.9](#), [P 2.2](#)
Ruder, Peter: [P 12.10](#)
Rudolph, Tobias: [P 11.1](#)
Rühaak, Wolfram: [O 11.6](#)
Rühle, Franziska: [O 3.3](#)
Rumohr, Sven: [O 5.4](#), [O 8.8](#)
RUSTEBERG, BERND: [P 1.7](#)
Rüther, Johanna: [O 15.12](#)
Sánchez-León, Eduardo Emilio: [P 1.8](#)
Šanda, Martin: [O 6.2](#)
Sass, Ingo: [O 11.6](#), [O 15.12](#), [P 4.2](#)
Sauter, Martin: [O 2.5](#), [O 14.2](#), [P 2.9](#)
SAUTER, MARTIN: [P 1.7](#)
Savvatis, Alexandros: [P 8.10](#)
Schäfer, Dirk: [O 11.1](#), [O 11.5](#), [O 15.6](#)
Schäfer, Thorsten: [O 1.8](#), [O 2.6](#)
Schäfer, Wolfgang: [O 12.9](#)
Schäffer, Rafael: [P 4.2](#)
Schäffner, Franziska: [P 6.14](#)
Schafmeister, Maria-Theresia: [P 6.5](#)
Schafrik, Wladislaw: [O 11.3](#)
Schanz, Tom: [O 11.1](#)
Scheel, Thorsten: [O 13.6](#), [P 13.1](#)
Schelenz, Sophie: [O 8.1](#), [P 8.4](#)
Schilling, Bernd: [O 13.6](#)
Schimmelpfennig, Sebastian: [O 1.9](#)
Schimpf, Lars: [P 2.8](#), [P 9.9](#)
Schirmer, Mario: [O 4.4](#), [O 4.5](#), [P 4.1](#), [P 4.3](#)
Schlamberger, Jochen: [O 4.3](#)
Schlösser-Kluger, Inga: [O 14.1](#)
Schluze, Marcellus: [P 8.1](#)
Schmid, Doris: [P 12.11](#)
Schmidt, Christian: [O 6.13](#), [O 12.7](#), [P 6.17](#), [P 6.18](#)
Schmidt, Sebastian: [P 2.9](#)
Schmidt-Hattenberger, Cornelia: [O 11.3](#)
Schneider, Michael: [O 6.8](#), [P 6.13](#)
Schneidewind, Uwe: [O 6.13](#)
Schöpke, Ralph: [P 1.9](#)

Schöttler, Marc: [O 1.5](#), [P 1.1](#), [P 5.5](#)
Schröder, Kai: [P 12.9](#)
Schubert, Michael: [P 10.6](#)
Schüll, Patricia: [P 6.22](#)
Schulte, Daniel: [O 11.6](#)
Schulte, Peter: [O 6.12](#)
Schulz, Carsten: [O 13.1](#)
Schulz, Stephan: [O 10.5](#), [P 10.11](#)
Schulze, Marcellus: [P 11.4](#)
Schuster, Hannsjörg: [P 2.11](#)
Schüth, Christoph: [O 10.5](#), [P 10.6](#), [P 10.11](#), [P 12.7](#)
Schwartz, Frank: [KeyNote 1](#)
Seibertz, Klodwig: [P 15.5](#)
Seibt, Andrea: [O 11.8](#)
Seifarth, Sven: [P 9.8](#)
Seitz-Gutmann, Alexander: [P 8.10](#)
Selle, Benny: [O 12.7](#)
Shao, Haibing: [O 8.1](#)
Siebenthaler, Dörte: [O 1.9](#)
Siebert, Christian: [O 10.5](#), [P 10.11](#), [P 10.13](#)
Skark, Christian: [O 6.11](#)
Smith, Kilian E.C.: [O 9.4](#)
Somogyi, Gabriella: [P 9.11](#)
Somogyi, Gabriella Zsófia: [P 9.10](#)
Sonne, Anne Th.: [KeyNote 2](#)
Soukup, Jan: [P 9.2](#)
Špaček, Pavel: [O 13.8](#)
SPACHOS, THOMAS: [P 1.7](#)
Spitzberg, Stefan: [O 12.8](#)
Spörlein, Timo: [O 13.9](#)
Sracek, Ondrej: [O 12.10](#)
Starke, Ch.: [P 2.1](#)
Stedra, Veronika: [O 13.7](#)
Steffinger, Florian: [P 1.11](#), [P 10.12](#)
Steger, Hagen: [P 15.6](#)
Steiner, Cornelia: [O 15.13](#)
Stemke, Marion: [P 8.7](#)
Stock, Johannes: [O 13.2](#)
Stoepker, Klaas: [O 1.11](#)
Stoewer, Myriam: [O 4.6](#)
Storck, Florian R.: [O 6.11](#)
Storz, Katharina: [P 15.6](#)
Strasser, Ulrich: [O 4.2](#)
Straßer, Daniel: [P 6.20](#)
Strauss, Harald: [P 2.7](#)
Streibel, Martin: [P 11.10](#)
Stumpp, Christine: [O 3.3](#), [O 4.6](#), [P 1.3](#), [P 3.1](#)
Sven, Groth: [P 5.3](#)

Svetlik, Daniel: [P 9.2](#)
Taschowsky, Julian: [P 2.2](#)
Taute, Thomas: [O 6.7](#)
Theis, Heinz: [O 6.5](#)
Thomas, Musch: [P 5.3](#)
Thomsen, Nanna I.: [KeyNote 2](#)
Thorsten, Gökpinar: [P 5.3](#)
Tillner, Elena: [O 11.3](#)
Tilmann, Gehrke: [O 11.8](#)
Tomsu, Christian: [O 1.9](#), [P 6.21](#)
Totsche, Kai Uwe: [O 8.7](#)
Tourian, Mohammad: [O 10.2](#)
Trapp, Stefan: [O 9.4](#)
Trauth, Nico: [O 6.6](#), [P 6.18](#)
Trincherro, Paolo: [O 1.8](#)
Trolborg, Mads: [KeyNote 2](#)
Tronnier, Tony: [P 15.7](#)
Trumbore, Susan: [P 6.11](#)
Tyukhova, Alina: [O 2.8](#)
Udo, Müller: [O 3.5](#)
Ueckert, Martina: [P 11.7](#)
Ufer, Christina: [P 6.22](#)
Ufrecht, Wolfgang: [O 2.7](#), [O 12.8](#), [P 2.5](#)
Usman, Mohammad: [O 10.6](#)
Vanderborght, Jan: [O 5.3](#)
van der Kruk, Jan: [O 5.3](#)
Vandersteen, Gerd: [O 6.13](#)
van Ek, Remco: [P 6.19](#)
van Geldern, Robert: [O 6.12](#), [P 6.1](#), [P 6.8](#), [P 6.9](#)
Vencelides, Zbyněk: [O 12.10](#)
Vereecken, Harry: [O 3.5](#), [O 5.3](#)
Vermeulen, Peter: [O 6.5](#)
Veselovsky, Frantisek: [O 13.7](#)
v. Fischer, Joe: [P 6.11](#)
v. Geldern, Robert: [O 11.4](#)
Vienken, Thomas: [O 5.2](#), [O 8.1](#), [P 8.3](#)
Vitvar, Tomáš: [O 6.2](#)
Vogel, Tomas: [P 13.3](#)
Vogel, Tomáš: [O 6.2](#)
Voigt, Hans-Jürgen: [O 6.3](#), [O 11.3](#)
Voigt, Thomas: [O 13.1](#)
von Bülow, Rhea: [P 2.2](#)
von Freyberg, Jana: [P 4.3](#)
Vujevic, Katharina: [O 1.12](#)
Wagner, Bernhard: [O 13.9](#), [P 2.11](#), [P 8.1](#), [P 9.11](#)
Wagner, S.: [P 12.11](#)
Wagner, Thomas: [O 2.1](#)
Wagner, Valentin: [O 8.2](#), [P 8.2](#), [P 15.6](#)

Walker, Patricia: [O 1.1](#)
Wang, Zijian: [O 3.6](#)
Warscher, Michael: [O 4.2](#)
Weber, Frank-Andreas: [O 14.3](#), [P 12.7](#)
Weckwert, Nils: [P 2.10](#)
Weise, Stephan: [P 6.5](#)
Welsch, Bastian: [O 11.6](#)
Wenderoth, Frank: [P 8.10](#)
Wendland, Frank: [O 3.5](#), [P 6.3](#)
Westphal, Anke: [O 11.8](#)
Wieber, Georg H.E.: [P 12.12](#)
Wiegers, Carla E.: [O 11.5](#)
Wiesner, Victoria: [O 6.6](#)
Wilhelm, Struckmeier: [O 13.5](#)
Willmann, Matthias: [O 2.8](#)
Wilske, Cornelia: [P 10.13](#)
Winkler, Andreas: [P 6.13](#)
Wisotzky, Frank: [O 12.2](#), [P 1.4](#), [P 2.12](#), [P 12.1](#), [P 12.4](#)
Witthöft, Melanie: [P 8.5](#)
Wohnlich, Stefan: [P 2.12](#), [P 8.7](#), [P 10.2](#), [P 12.1](#)
WOKAM-Team, : [O 2.3](#)
Wolfgang, Kinzelbach: [P 1.6](#)
Wolfgang, Sand: [O 11.8](#)
Woodbury, Allen: [O 3.6](#)
Wrobel, Michael: [O 6.9](#)
Wunderlich, Anja: [O 12.3](#)
Würdemann, Hilke: [O 11.1](#), [O 11.8](#)
Wycisk, Peter: [O 9.1](#), [P 12.5](#)
Yadav, Prabhas: [P 12.3](#)
Yadav, Prabhas K.: [O 15.7](#)
Yan, Ruiwen: [P 12.10](#)
Yvonne, Wolter: [P 6.16](#)
Zachmann, Dieter: [P 3.2](#)
Zaepke, Markus: [P 2.11](#)
Žák, Karel: [O 12.10](#)
Zeitlhöfler, Matthias: [O 13.9](#)
Zekri, Slim: [O 10.3](#)
Zhu, Yan: [P 9.3](#)
Zimmer, Martin: [O 11.4](#)
Zimmermann, Günter: [O 11.3](#)
Zosseder, Kai: [O 8.4](#), [P 9.5](#), [P 9.6](#), [P 9.10](#), [P 11.4](#)
Zoßeder, Kai: [P 9.11](#)
Zschornack, Ludwig: [O 5.2](#)
Zullei-Seibert, Ninette: [O 6.11](#)