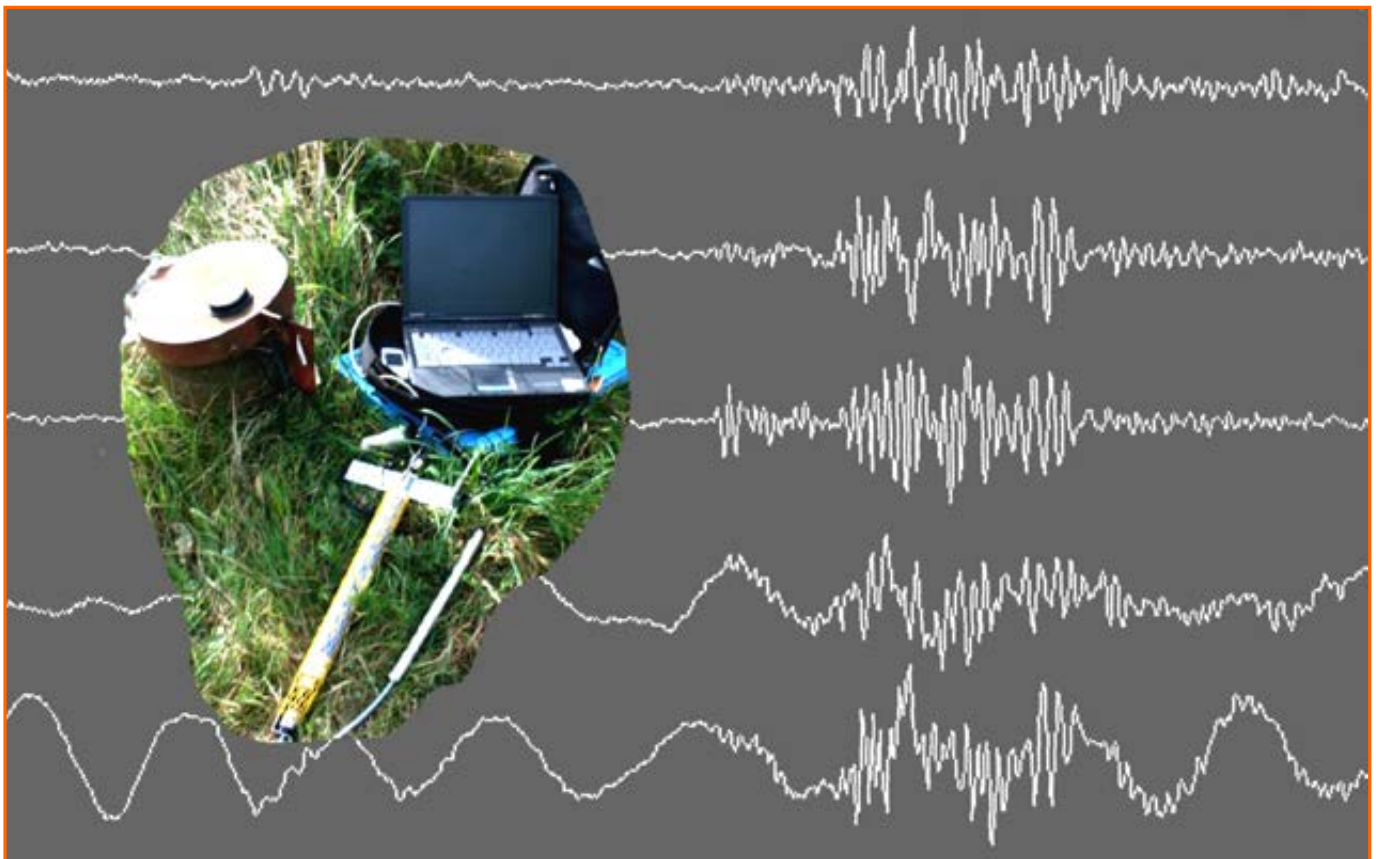


Seismohydrologie zur Erdbebenprognose im Vogtland

Schriftenreihe, Heft XX/2013 (wird von ÖA LfULG vergeben)



Einsatz der Seismohydrologie zur Erdbebenprognose im Vogtland

Abschlussbericht 2012-2013 (Projektteil 2)

zum Forschungs- und Entwicklungsvertrag 102-4331.10/16/1, Vergabe-Nr. B 636

zwischen dem

Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

und der

Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (SAW)

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2012 bis 31.10.2013

Ulrich Koch

Inhaltsverzeichnis

1	Angaben zum Projekt	5
1.1	Projektbegleitende Kommission	5
1.2	Vorhaben	5
2	Zielstellung	5
3	Wissenschaftlicher Kenntnisstand	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	Zusammenfassung des Forschungsstandes.....	7
4	Seismische und hydrologische Situation im Untersuchungsgebiet 2012 und 2013	8
4.1	Seismizität	8
4.2	Hydrologie und Grundwasserstände	8
5	Hydrologische Backgroundmessungen	9
5.1	Standorte des erweiterten Grundwassermessnetzes	9
5.1.1	Messtechnik, Installation	12
5.1.2	Installation von Datenfernübertragungsmodulen.....	14
5.1.2.1	Technik	14
5.1.2.2	Besonderheiten an den Standorten des erweiterten Messnetzes	15
5.2	Messergebnisse	17
5.2.1	Brunnen Rohrbach 1 (RO1).....	17
5.2.2	Pegel Gürth (GUE)	18
5.2.3	Vorfeldbohrung Bad Elster (BE_VOR).....	19
5.2.4	Brunnen Hennebach (HEB).....	20
5.2.5	Grundwassertemperaturen von GUE, BE_VOR und HEB.....	21
5.2.6	Thermalsolebohrung Bad Elster (BE_TSB).....	21
5.2.7	Bad Brambach – Pegel VL4T und GW1	23
6	Seismohydrologische Relevanz der Messstellen	24
7	Langzeittrend des Gasflusses an Quellen Bad Brambachs	26
8	Zusammenfassung und Perspektiven	27
9	Methodisch-praktische Konsequenzen für die Fortsetzung	29
10	Danksagung	30
11	Literatur	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Erdbeben-Epizentren im Vogtland/NW-Böhmen.....	6
Abbildung 2:	Erweitertes Grundwassermessnetz für seismohydrologisches Monitoring.....	10
Abbildung 3:	Standorte für das erweiterte seismohydrologische Messnetz.....	12
Abbildung 4:	SEBA-SlimCom-Modul für die Datenfernübertragung als Nachrüstatz zum p/T-Dipper T3.....	15
Abbildung 5:	Grundwassermessstelle Pegel Gürth (GUE).....	16
Abbildung 6:	Grundwasserstand, Luftdruck und Niederschlag am Brunnen Rohrbach 1, Tagesmittel 2011-2013.....	18
Abbildung 7:	Grundwasserstand, -temperatur, Luftdruck und Niederschlag am Pegel Gürth, Tagesmittel 2011-2013.....	19
Abbildung 8:	Grundwasserstand, -temperatur, Luftdruck und Niederschlag an der Vorfeldbohrung Bad Elster,	20
Abbildung 9:	Grundwasserstand, -temperatur, Luftdruck und Niederschlag am Brunnen Hennebach,	21
Abbildung 10:	Grundwassertemperaturen im erweiterten Messnetz, Tagesmittel 2011-2013.....	22
Abbildung 11:	Artesischer Druck, Wassertemperatur, Luftdruck, Niederschlag an der Thermalsolebohrung Bad Elster,.....	23
Abbildung 12:	Grundwasserstände, GW-Differenzkurve, Luftdruck und Niederschlag Bad Brambach,.....	24
Abbildung 13:	Entwicklung der CO ₂ -Entgasungsrate an Quellen in Bad Brambach und Mofetten im Egerbecken.....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Grundwasseraufschlüsse für seismohydrologisches Monitoring.....	11
Tabelle 2:	Schwankungsbreiten der Grundwasserstände im erweiterten Messnetz bis Ende Juni 2013	13
Tabelle 3:	Technische Daten GFÜ-Einheit SlimCom (Angaben Fa. SEBA Hydrometrie).....	15
Tabelle 4:	Messstandorte und ihre technische Ausrüstung zur Datenfernübertragung	16
Tabelle 5:	Seismohydrologische Charakterisierung und Bewertung der Messstandorte.....	25

1 Angaben zum Projekt

1.1 Projektbegleitende Kommission

Vorsitzender: OM Prof. Dr. Reinhard Gaupp (Friedrich-Schiller-Universität Jena)
Mitglieder: Dr. Jens Heinicke (Dresden)
OM Prof. Dr. Horst Hennig (Universität Leipzig)
OM Prof. Dr. Jörg Kärger (Universität Leipzig)
OM Prof. Dr. Dieter Michel (Universität Leipzig)
Anschrift: Karl-Tauchnitz-Str. 1, 04107 Leipzig
Telefon: (0341) 711 530
Fax: (0341) 711 5344

1.2 Vorhaben

Projektleiter: OM Prof. Dr. Heiner Kaden
Leiter der
Arbeitsstelle: Dr. Ulrich Koch
Anschrift: Ringstraße 23 B, 08648 Bad Brambach
Telefon: (037438) 2198 44
Fax: (037438) 2198 45
E-Mail: koch@saw-leipzig.de
Internet: <http://www.saw-leipzig.de/forschung/projekte>

2 Zielstellung

Mit der Prognose lokaler Erdbeben können Schutz und Aufklärung der Bevölkerung hinsichtlich seismischer Ereignisse im gegenwärtig wichtigsten Epizentralgebiet von Nový Kostel (CZ) verbessert werden. Gemäß den bisherigen Erkenntnissen, nach denen der Fluidruck ein wichtiger seismohydrologischer Parameter ist, sollte die seismische Sensitivität weiterer Grundwasseraufschlüsse getestet werden. So war neben der Fortsetzung der Langzeitmessreihen an der Basisstation Wettinquelle und Grundwassermessstellen Bad Brambachs das GW-Pegelnetz räumlich zu erweitern, um

- a) Lokationen zu finden, die hinsichtlich anderer Epizentren seismohydrologisch sensitiv sind (Klingenthal/Markneukirchen, Bad Elster, Landwüst, nördlich von Bad Brambach),
- b) auf künftige Erdbebenereignisse im Oberen Vogtland optimal vorbereitet zu sein.

Mit diesem Konzept war davon auszugehen, dass relevante Fortschritte und Ergebnisse auch für den Fall erzielt werden, dass während der Projektlaufzeit 2011-2013 keine nennenswerte Seismizität im Gebiet um Nový Kostel auftritt (Backgroundmessungen). Mittelfristiges Ziel sollte die Herausarbeitung von standortbezogenen Kriterien (z. B. typischen Grundwasserstandsschwankungen) sein, die für eine Anomalie-Identifizierung und damit als Basis für lokale Bebenprognosen geeignet sind. Im Erfolgsfall war eine Ausrüstung der betreffenden Messstationen mit Datenfernübertragungseinrichtungen und die Einbindung in das regionale Erdbebenbeobachtungsnetz vorgesehen.

Vorliegender Abschlussbericht fasst die im Projektteil 2 (07/2012-10/2013) ausgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse zusammen. Er stützt sich dabei auf den Abschlussbericht des Projektteiles 1 vom Mai 2012 (Koch 2012a), die Zwischenberichte vom Oktober 2011 und vom November 2012 (Koch 2011, 2012b) sowie die in einem umfangreichen Abschlussbericht dargelegten Ergebnisse aus dem SAW-Langzeitprojekt "Radiometrie-Geochemie" (1991-2010). Während dessen Laufzeit konnten zahlreiche hydrologische Effekte an Quellen und Mofetten des Vogtlandes und NW-Böhmens im zeitlichen Umfeld von Schwarmbeben dokumentiert und detailliert untersucht werden. (Koch & Heinicke 2010; Koch 2011).

Gemäß dem im vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsvertrag ausgewiesenen Aufgaben- und Zeitplan sind die Ausrüstung des erweiterten Messnetzes mit Datenfernübertragung und die im Bearbeitungszeitraum 07/2012 bis 10/2013 erzielten Ergebnisse der hydrologischen Backgroundmessungen an den neuen Standorten Schwerpunkte dieses Abschlussberichtes. Zur Gewährleistung einer termingerechten technischen Fertigstellung des Berichtes ist die zugrunde liegende komplexe Datenauswertung mit Stand 15. September 2013 beendet worden.

Zusätzlich wird eine CD-ROM geliefert, die neben den im Bearbeitungszeitraum 2011-2013 registrierten Messwerten auch wichtige hydrologisch-meteorologische Daten rückwirkend bis zum Jahr 2000 enthält. Weiterhin sind dort der aktuelle und der Abschlussbericht 2012 des Projekteiltes 1, die Zwischenberichte 2011 und 2012 sowie ein Dateiverzeichnis verfügbar.

3 Wissenschaftlicher Kenntnisstand

3.1 Allgemeines

Neue Erkenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen geodynamischen Prozessen und damit verbundener Fluidynamik bestimmten in den letzten 20 Jahren die Interpretation seismologischer und seismohydrologischer Untersuchungen nachhaltig. Mittelpunkt bzw. Basisregion der Forschungstätigkeit waren dabei das Obere Vogtland und NW-Böhmen (Eger-Becken). Neben der Eifel und dem Zentralmassiv (Frankreich) gehört dieses Gebiet zu den drei wichtigsten Regionen Europas, in denen sogenannte Schwarmbeben unabhängig von starken tektonischen Beben auftreten. Im Untersuchungsgebiet ist diese Bebenaktivität als Intraplate Seismicity einzuordnen, also Erdbeben, die innerhalb tektonischer Platten stattfinden, nicht an deren Grenzen. Im Vogtland und in NW-Böhmen treten bedeutende Bebenschwärme etwa alle 7 bis 10 Jahre auf, stärkere Seismizität etwa alle 70 bis 90 Jahre (Neunhöfer & Meier 2004). Das Hauptepizentralgebiet liegt seit 1985 im Raum Nový Kostel, Tschechien (Abb. 1). Nach 2009 traten aber auch vermehrt Beben nördlich von Bad Brambach auf, also zwischen den Epizentralgebieten von Skalná und Bad Elster (s. a. Abb. 2).

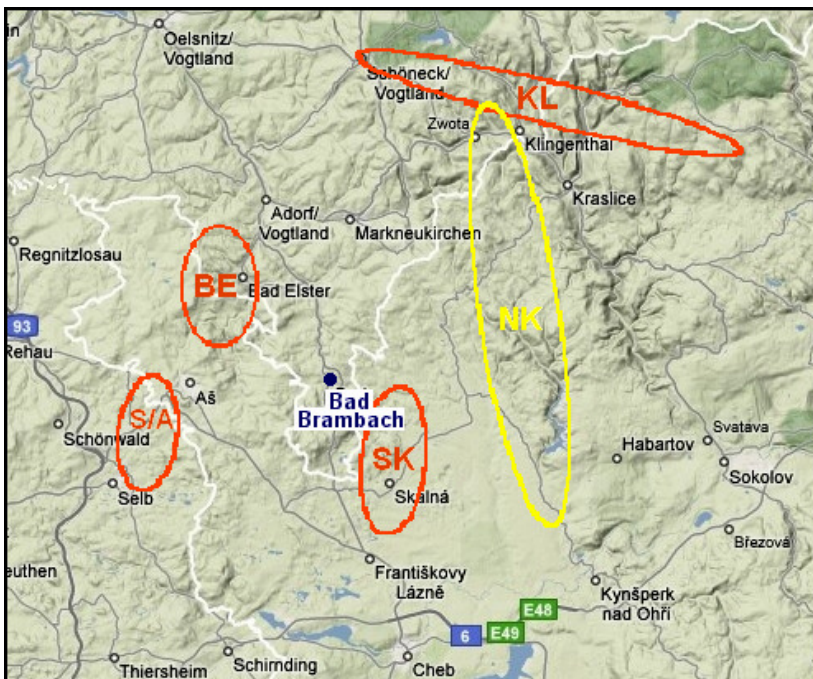


Abbildung 1: Erdbeben-Epizentren im Vogtland/NW-Böhmen.

Seit 1985 treten die Schwarmbeben überwiegend im Gebiet um Nový Kostel (NK) auf und erreichen dort Magnituden bis 4,5 (BE – Bad Elster, KL – Klingenthal, S/A – Selb /Asch, SK – Skalná).

Die Magnituden einzelner Ereignisse sind kleiner als 5, aber die Häufigkeit kann bis zu mehreren Tausend Einzelereignissen innerhalb weniger Monate betragen. Nennenswerte Schäden traten bisher nicht auf. Sicher ist es diesem Umstand und dem

Fehlen zeitlich hoch auflösender, hinreichend sensitiver Registriertechnik geschuldet, dass erst in den letzten 20-25 Jahren verstärkte Forschungsanstrengungen zu Genese und Mechanismus von Schwarmbeben unternommen wurden. Parallel dazu sind aufsteigende Krustenfluide (Wasser, Gase und mineralisierte Lösungen) immer mehr in den Fokus der Betrachtungen gerückt, nicht zuletzt auch auf Grund der wissenschaftlichen Resultate aus dem SAW-Langzeitvorhaben "Radiometrie-Geochemie" seit 1991.

3.2 Zusammenfassung des Forschungsstandes

- Seismohydrologische Anomalien können sowohl vor, während als auch nach Erdbeben auftreten. Insbesondere die Mechanismen für kurzzeitige Vorläufereffekte (Druck) und post-seismische geochemische Effekte (Transport, Migration) bedürfen weiterer Untersuchungen. Angesichts der unterschiedlichen Reaktionszeiten und der Komplexität der Vorgänge ist diese Aufgabe nur mit einem kontinuierlichen Langzeitmonitoring bei zeitlichen Auflösungen zwischen Minuten (hydrologische/hydraulische Parameter) und mehreren Tagen/Wochen (hydrochemische/isotopengeochemische Parameter) lösbar.
- Der Zufallscharakter der für die Verifizierung erforderlichen Erdbeben erfordert eine ständige Überwachung des hydrologisch-geochemischen Backgrounds, um seismohydrologische Anomalien sicher identifizieren zu können. Dazu gehört unbedingt die parallele Registrierung von meteorologischen, hydrologischen und Entgasungsparametern mit entsprechender zeitlicher Auflösung (Luftdruck, Niederschlag, Wasserstände, Quellschüttungen, Gasflussraten).
- Internationale Erfahrungen zeigen, dass mit diskontinuierlichen und/oder kurzzeitigen Messungen kaum Erfolge zu erzielen sind. Auch der über mehrere Jahre andauernde Anstieg des Mantelheliums und der zeitversetzt registrierte Aufwärtstrend der Gasflussraten an NW-böhmischen Mofetten, die eine Veränderung im Entgasungsverhalten unter dem Eger-Becken signalisieren, unterstreichen die Bedeutung von Langzeitbeobachtungen.
- Eine Vielzahl von seismohydrologischen Anomalien, die in Bad Brambach, aber auch in Italien und Taiwan registriert wurden, zeigt, dass Fluide unter bestimmten Voraussetzungen in einem zusammenhängenden Kluftsystem Spannungsaufnehmer sind, die als hochsensible hydrologische Strain-Meter das "Signal" bis zur Erdoberfläche transportieren oder übertragen können. Demgemäß handelt es sich bei den registrierten seismohydrologischen Effekten hauptsächlich um Anomalien des hydrostatischen Druckes (z. B. in Quelfassungen oder Grundwasserpegeln) oder der freien Gasemission an Quellen und Mofetten.
- Die Druckausbreitung über Poren- und Klufttraum ist das Bindeglied zwischen dem dynamischen Prozess in der Erdkruste und der Erdoberfläche. Dies verdeutlicht auch die festgestellte Häufung von Schwarmbebenereignissen in der Region während oder nach Perioden mit niedrigem Grundwasserstand, sprich: geringerem hydraulischen Gegendruck auf das Fluidsystem. Dadurch kann sich die Mobilität von Tiefenfluiden erhöhen.
- In Gebieten mit starker rezenter Tektonik und Seismizität sind zeitlich hoch aufgelöste Messungen des Wasserspiegels an Tiefbohrungen und der Emissionsraten von Tiefenfluiden der Schlüssel für die Klärung dieses Druckmechanismus.
- Sowohl der internationale als auch eigene Forschungsstand erlaubt es gegenwärtig noch nicht, eine Erdbebenvorhersage nach **Ort – Zeit – Magnitude** (incl. *Wahrscheinlichkeiten*) gemäß den hohen Anforderungen der internationalen Gremien zu realisieren (s. a. [Earthquake Prediction Debate in: Nature, Februar 1999](#)).
- An gut untersuchten Standorten mit nachgewiesener seismohydrologischer Sensitivität und einem gesicherten Zusammenhang mit einem Epizentralgebiet (wie Bad Brambach - Nový Kostel) können jedoch Aussagen über die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Schwarmbebenereignissen in einem gewissen Zeitfenster nach hydrologischen Anomalien getroffen werden. Dafür wird hier der weniger strenge Begriff "Prognose" verwendet.
- Gegenwärtig sind nach sicherer Identifizierung einer Grundwasser- oder Gasflussanomalie an Bad Brambacher Messstandorten folgende Aussagen für das Auftreten eines Schwarmbebens möglich:
 - Epizentrum Nový Kostel: Wahrscheinlichkeit 90 %,
 - Einsatz 6 bis 8 Wochen nach Anomaliebeginn: Wahrscheinlichkeit 75-85 %,
 - maximale Magnitude: < 4,5 (Erfahrungswert).
- Aus dem Verlauf, der Dauer und Höhe einer Gasfluss- oder Grundwasserstands-anomalie können keine Vorhersagen über den exakten Beginn und die Dauer des potenziellen Schwarmbebens, die Anzahl der Einzelereignisse, die Verteilung und Höhe der Magnituden oder die maximale Energiefreisetzung abgeleitet werden.
- Zur Übertragung der in Bad Brambach möglichen Aussagen auf Erdbeben in anderen, über Nový Kostel hinaus gehenden Epizentralgebieten der Region ([Abb. 1](#)) gibt es noch keine Erfahrungen. Dazu sollte das im Rahmen des vorliegenden Projektes räumlich zu erweiternde Grundwasserstandsmessnetz die Voraussetzungen schaffen.

- Im neuen Grundwassermessnetz konnte an den Pegeln Gürth (GUE), Bad Elster, Vorfeld (BEV) und Hennebach (HEB) die seismische Sensitivität der Standorte gegenüber Schwarmbeben im Raum Luby/Nový Kostel (CZ) nachgewiesen werden. Diese äußerte sich in Form ko-seismischer Grundwasserstands anomalien. Über eventuelle hydrologische Vorläufer zu diesem Bebenereignis sind keine Aussagen möglich, da die Messungen an den neuen Standorten erst wenige Tage zuvor begannen.
- Damit sind für das neue Messnetz zwar Angaben über zu erwartende seismisch induzierte GW-Schwankungen (–11 bis +5 cm) möglich, jedoch nicht die Ableitung von Kriterien für eine Bebenprognose. Auch der Fluidruckaufbau vor den wenigen nachfolgenden lokalen Schwarmbeben (bes. April 2013) war offenbar nicht ausreichend, um hydrologische Bebenvorläufer zu generieren.
- Aus den bisherigen Beobachtungen im neuen GW-Messnetz kann vermutet werden, dass bei lokalen Magnituden kleiner als etwa 2,5 nicht mit hydrologischen Reaktionen im zeitlichen Umfeld von Beben im Raum Luby/Nový Kostel zu rechnen ist.

4 Seismische und hydrologische Situation im Untersuchungsgebiet 2012 und 2013

4.1 Seismizität

Verglichen mit 2011 war das Jahr 2012 von einer sehr geringen Seismizität im Raum Nový Kostel und im Oberen Vogtland geprägt. So wurden zwischen 01.01. und 31.12.2012 lediglich 158 Ereignisse mit Magnituden >0 gemessen, darunter 21 mit $M_L > 1$ ($M_{Lmax}=2,1$). Beben mit $M_L > 3$ traten nicht auf (diese und folgende Angaben: [Observatorium Collm der Universität Leipzig](#))¹⁾. Dabei konzentrierten sich diese Ereignisse überwiegend auf Anfang März 2012: ($M_L > 0$: $n=65$, $M_L > 1$: $n=15$). Erfahrungsgemäß waren bei der geringen Stärke und Anzahl der Beben anomale Reaktionen im Grundwasser- und Gasregime an den beobachteten Standorten nicht zu erwarten. So wurden neben den typischen Abhängigkeiten von Luftdruck, Niederschlägen bzw. Wasserständen benachbarter Vorfluter keine seismisch induzierten anomalen Effekte gemessen.

Im Jahr 2013 kam es besonders im Frühjahr im Raum Nový Kostel und Luby zu ausgeprägten Schwarmbeben mit einer maximalen Magnitude von 2,4. Bis zum 19. Mai wurden 195 Ereignisse mit $M_L > 0$ (davon 83 mit $M_L > 1$) registriert, die sich vor allem auf die zweite April- und die erste Maihälfte konzentrierten. Zwischen 30. August und 1. September gab es noch einen kurzen Schwarm östlich von Luby mit 51 Ereignissen $M_L > 0$, davon 13 mit $M_L > 1$ ($M_{Lmax}=2,1$). Auch hier konnten an keiner Messstelle seismisch induzierte hydrologische Anomalien identifiziert werden. Möglicherweise ist hierfür die vergleichsweise geringe Zahl von Ereignissen mit hohen Magnituden verantwortlich. Allein bei dem Schwarm vom Spätsommer 2011, wo ko-seismische Anomalien an drei der neuen Pegel aufgetreten waren, gab es 34 Ereignisse mit $M_L > 2,5$ (davon 10 mit $M_L > 3$).

4.2 Hydrologie und Grundwasserstände

Nach einem schneereichen, nicht besonders kalten Januar 2012 (N : 103,5 mm; T_m : $-0,9$ °C) waren die folgenden drei Monate mit insgesamt nur 73 mm Niederschlag relativ trocken, so dass die üblicherweise durch die Schneeschmelze hervorgerufene Erhöhung der Grundwasservorräte nicht bis in den Sommer hinein vorhielt. Dies machte sich in einem relativ zeitigen saisonalen GW-Rückgang an allen Messstellen bemerkbar. Daran änderte sich auch im niederschlagsreichen Juli nichts (N : 92,7 mm), da die für diese Jahreszeit typischen starken Gewitterschauer durch das überwiegend starke Geländegefälle sowie die hohe Evaporation und Evapotranspiration (entwickelte Vegetation) kaum oder nur kurzzeitig grundwasserwirksam wurden. Schon der Folgemonat August war mit N = 41,7 mm und T_m = 16,7 °C wieder wesentlich trockener und sehr warm. Mit Niederschlägen von 54,4 mm lag dann auch der September deutlich unter dem langjährigen Durchschnitt von 1982-2011 (64,7 mm). Besonders die

¹⁾ www.uni-leipzig.de/collm/auswertung_temp.html

relativ feuchten Monate November und Dezember (schneereich) sorgen dafür, dass die Niederschlagssumme mit 723,5 mm für 2012 einen Wert erreichte, der um 2,9% über dem langjährigen Mittel der Station Bad Brambach liegt (n=42).

Die Grundwasserneubildung im Frühjahr 2013 profitierte vor allem von dem schneereichen Dezember 2012 und dem feuchten, später schneereichen Januar 2013. Bis auf eine milde Periode Anfang jenes Monats setzte die Schneeschmelze 2013 außergewöhnlich spät ein. Frost und Schnee kennzeichneten den Wetterablauf bis in die erste Aprildekade hinein. Eine Hochwasserwetterlage Ende Mai/Anfang Juni brachte für Mai und Juni 2013 Niederschlagsmengen von 132,2 bzw. 111,5 mm und ließ die GW-Stände auf für diese Jahreszeit außergewöhnlich hohe Werte ansteigen. Neben der hohen Vorfeuchte der Böden trug dazu besonders in Gürth die Behinderung des hypodermischen Abflusses durch den stark angeschwollenen benachbarten Vorfluter bei (Gürther Bach). Im Gegensatz dazu war der Juli an 26 Tagen niederschlagsfrei. Die N-Summe von 44,8 mm wurde überwiegend durch drei gewittrige Starkregenereignisse erreicht, die aber bis auf den Pegel Hennbach und drei Bad Brambacher Messstellen nicht grundwasserwirksam waren. Ähnliches gilt auch für den August mit neun Niederschlagstagen und einer N-Summe von 60,8 mm. Generell setzte sich der saisontypische, etwa seit der zweiten Junihälfte herrschende GW-Abwärtstrend fort. Lediglich an der Station Bad Elster, Vorfeld (BE_VOR) gibt es bis zur Gegenwart einen langsamen GW-Anstieg nach dem rapiden Absinken des Wasserspiegels während der Bohrung des neuen Nachbarpegels. Der Ausgangszustand ist dort noch nicht wieder erreicht (vergl. 5.2 und 5.2.3).

5 Hydrologische Backgroundmessungen

5.1 Standorte des erweiterten Grundwassermessnetzes

Die folgenden fünf Messstellen waren im Mai 2011 für die Installation mit kombinierten Wasserdruck-Temperatur-Sonden incl. Datenloggern ausgewählt worden (Koch 2011, 2012a; Abb. 2, 3):

- Pegel Gürth (GUE),
- Brunnen Hennebach (HEB),
- Brunnen Rohrbach 1 (RO1), ohne Temperaturmessung,
- Vorfeldbohrung Bad Elster (BE_VOR),
- Thermalsolebohrung Bad Elster, 1200 m (BE_TSB).

Bei den ersten drei Aufschlüssen handelt es sich um von der Bad Brambacher Mineralquellen GmbH zur Wassergewinnung niedergebrachte Brunnen, wovon die Bohrung Gürth als GW-Pegel ausgebaut und in das sächsische Landesbeobachtungsnetz eingebunden wurde. Ihre Tiefe zwischen 50 und 88 m und die Abdichtung gegenüber dem oberflächennahen Grundwasser lassen eine unbeeinflusste Anbindung an den geklüfteten Festgesteinsaquifer erwarten, der überwiegend von Glimmerschiefer (HEB, RO1) bis hin zu phyllitischem Glimmerschiefer (GUE) gebildet wird. Details der Standorte sind aus [Tabelle 1](#) (Nr. 10-12) ersichtlich. Dank der großzügigen technischen und logistischen Unterstützung der Brambacher Mineralquellen GmbH konnten diese drei Messstellen für unser seismohydrologisches Monitoring genutzt werden.

Ein weiterer Standort ist die sogenannte Vorfeldbohrung (BE_VOR) des Staatsbades Bad Elster, welche als Beobachtungsbrunnen während der Abteufung der 1200-m-Thermalsolebohrung Bad Elster vorgesehen war ([Abb. 3, Tab. 1, Nr. 13](#)). Sie befindet sich ca. 250 m SSW der Thermalsolebohrung, ist 110 m tief und steht vollständig im Phyllit. Wie am Brunnen Rohrbach 1 erfolgt auch hier ein Datenaustausch mit der Umweltbüro GmbH Vogtland in Weischlitz, die mit der hydrogeologischen Routineüberwachung sowohl bei der Sächsischen Staatsbäder GmbH als auch der Bad Brambacher Mineralquellen GmbH beauftragt ist.

Die Thermalsolebohrung Bad Elster (BE_TSB) wurde zusätzlich in das Messprogramm aufgenommen. Sie ist als Thermalsolequelle für die Versorgung der Staatsbäder konzipiert ([Tab. 1, Nr. 14](#)). Das 1200 m tiefe Bohrloch steht über die gesamte Länge im vogtländischen Phyllit, der in den obersten ca. 600 m quarzitisches ausgebildet ist. Bis zu etwa 300 m Tiefe wird er von Quarzschieferlagen durchzogen. Die Klüftigkeit ist sehr gering. Das spiegelt sich in der niedrigen Ergiebigkeit von etwa 0,04 L/s wider. Das Wasser war anfänglich mit einem Überdruck von etwa 12 m über Gelände artesisch gespannt. Nach verschiedenen Untersuchungen und damit verbundenem längeren Überlauf der Fassung wurde die Wassersäule bis nach oben stark aufgesalzen, so dass der Kopfdruck im April 2013 bei nur noch etwa 3 m ü. Gel. lag. Der artesische Überdruck und die hohe salinare Aggressivität des Wassers stellen besondere Anforderungen an die einzusetzenden Drucksonden, so dass hier die zusätzliche Anschaffung eines integrierten Druck-Temperatur-Levelloggers LT F100/M30 (Fa. SOLINST, Kanada) notwendig war, der ohne

eine Kabeldurchführung am Brunnenkopf auskommt (Koch 2012a, Kap. 4.2). Dank der Unterstützung durch das UBV Weischlitz, das eine Edelstahlblindmutter mit eingeschweißter Innenöse für die Halteseile anfertigen ließ, konnte die Sonde bereits im November 2011 vor Ort installiert werden (Abb. 3, 5). Sie registriert Druck und Wassertemperatur mit dem gleichen Messintervall wie die übrigen Stationen (15 min). Allerdings ist damit zu rechnen, dass die Bohrung etwa ab 2014 therapeutisch genutzt werden wird, so dass Druckmessungen dann weder möglich noch wissenschaftlich sinnvoll wären.

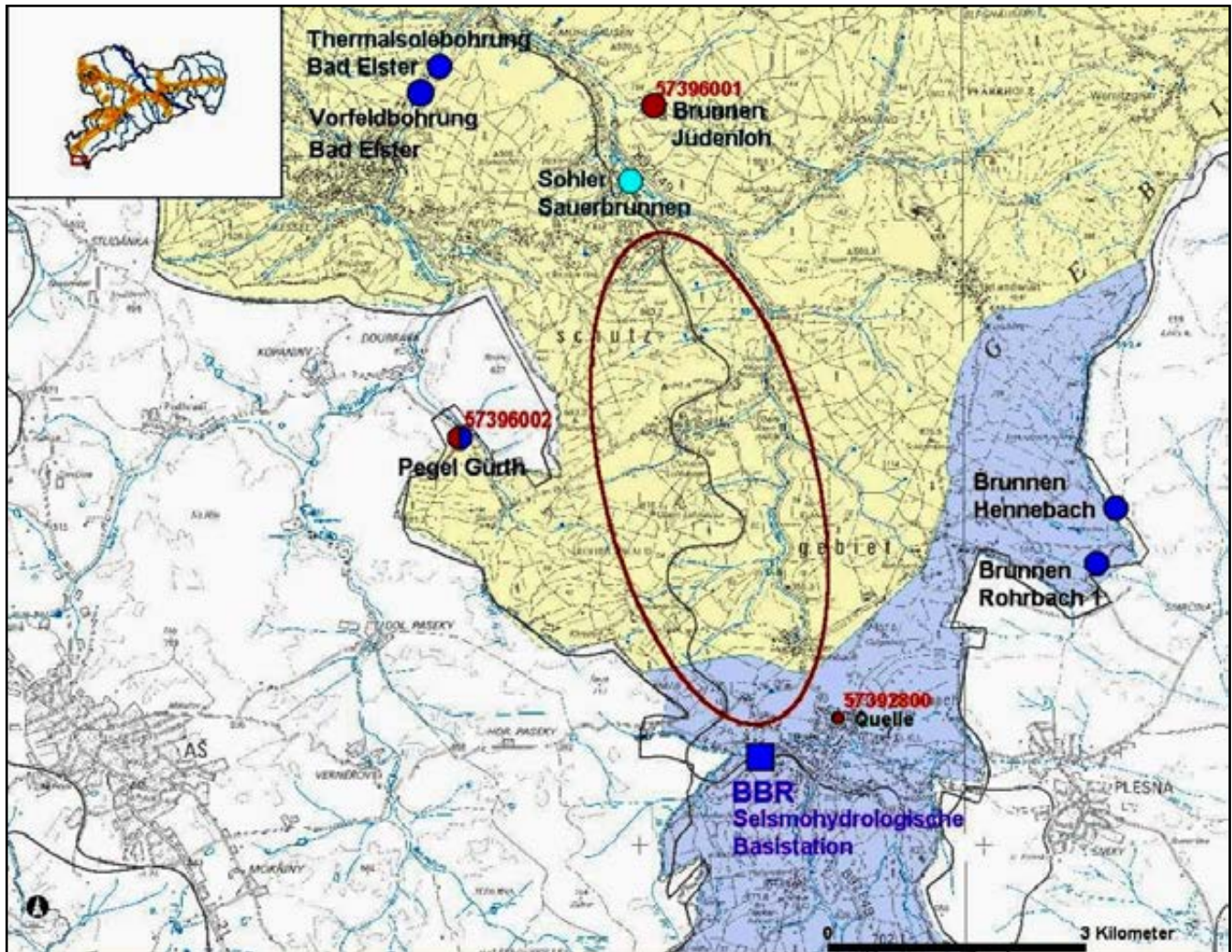


Abbildung 2: Erweitertes Grundwassermessnetz für seismohydrologisches Monitoring. Die dunkelrote Ellipse kennzeichnet das Epizentrum nördlich von Bad Brambach, wo seit 2009 verstärkt Beben auftreten. rot – Messpunkte des sächsischen Landesmessnetzes, blau – Bohrbrunnen für Messnetzerweiterung, hellblau – weitere potenzielle Monitoringstandorte.

Ursprünglich war auch eine der zahlreichen Fassungen des ehemaligen Sohler Sauerbrunnens von Interesse, an denen brodelnde Entgasungserscheinungen während der starken Schwarmbeben im Herbst 1908 dokumentiert worden waren (Weise 1908). Die Brunnen sind für relevante Wasserstandsmessungen jedoch nur bedingt geeignet, da die Fassungen größtenteils miteinander verbunden sind und zudem frei ausfließen. Dadurch wird der Wasserstand überwiegend von der Höhe des Auslaufniveaus bestimmt, und mögliche geotektonische Einflüsse können kaum erkannt werden. Ein "Hochziehen" des Wasserspiegels auf das natürliche Grundwasserniveau in einem ausgewählten Brunnen durch Rohreinbauten und Abdichtungen wäre zu aufwendig gewesen, gemessen an den Erfolgsaussichten für ein seismohydrologisches Monitoring an diesem Standort.

Tabelle 1: Grundwasseraufschlüsse für seismohydrologisches Monitoring
(blau: erweitertes Messnetz, Nr. fett: automatische Messung)

Nr.	Messstellenname	Kennung	Messstellenart	Hochwert	Rechtswert	N-Breite	E Länge	Innen Ø [mm]	Baujahr
1	Bad Brambach, Kurpark, VL1	VL1	GW-Beobachtungsrohr, 15 m	5565037,68	4521320,92	50,22107	12,29727	100	1998
2	Bad Brambach, Kurpark, VL2	VL2	GW-Beobachtungsrohr, 15 m	5565045,74	4521388,69	50,22114	12,29822	100	1998
3	Bad Brambach, Kurpark, VL3F	VL3F	GW-Beobachtungsrohr, 6 m	5565067,72	4521322,23	50,22134	12,29729	100	1998
4	Bad Brambach, Kurpark, VL3T	VL3T	GW-Beobachtungsrohr, 15 m	5565069,95	4521321,51	50,22136	12,29728	100	1998
5	Bad Brambach, Kurpark, VL4F	VL4F	GW-Beobachtungsrohr, 6 m	5565088,00	4521385,66	50,22152	12,29818	100	1998
6	Bad Brambach, Kurpark, VL4T	VL4T	GW-Beobachtungsrohr, 15 m	5565083,56	4521387,11	50,22148	12,29820	100	1998
7	Bad Brambach, Kurpark, GW1	GW1	GW-Beobachtungsrohr, 4 m	5565116,16	4521473,33	50,22177	12,29941	50	1998
8	Bad Brambach, Kurpark, B200	B200	Mineralwasserbohrung, 200 m	5565157,25	4521456,75	50,22214	12,29918	300	1940
9	Bad Brambach, Kurpark, RH01	RH1	Schachtbrunnen, westl. Badstr. 49, 11 m	5564980,27	4521149,87	50,22056	12,29487	1000	vor 1960
10	Gürth, 03/95, Flurstück 282	GUE	Bohrbrunnen, als Pegel ausgebaut, 50 m	5568799,00	4517952,00	50,25500	12,25024	100	1995
11	Rohrbach 1, 05/95	RO1	Bohrbrunnen, 85 m	5566859,00	4525217,00	50,23729	12,35198	100	1995
12	Hennebach, 04/95	HEB	Bohrbrunnen, 88 m	5567763,00	4525550,00	50,24540	12,35671	100	1995
13	Bad Elster, Vorfeldbohrung	BE_VOR	Bohrbrunnen, 101 m	5572613,68	4517507,21	50,28930	12,24418	100	2007
14	Bad Elster, Thermalsolebohrung	BE_TSB	Bohrbrunnen, 1200 m	5573103,73	4517728,58	50,29370	12,24731	311/211 ⁺⁾	2008

Höhen [m NN]									
Nr.	Gelände	Brunnen OK	Filter OK	Filter UK	Ausbau- sohle	Endteufe	Grundwasserkörper	Bemerkungen	
1	574,79	575,63				559,79	schwach mineralisiert	BOK-Höhen GW-Pegel 1-7, BBR: Oberkante b. offener Klappe	
2	573,39	574,14				558,39	schwach mineralisiert	GW-Aufschlüsse 6-8: Kontinuierliche Datenaufzeichnung (dt=15 min) seit 1999	
3	570,24	570,20				564,24	schwach mineralisiert	GW-Aufschlüsse 10-14: Messnetzerweiterung; Datenaufzeichnung (dt=15 min)	
4	570,40	570,34				555,40	schwach mineralisiert	GW-Aufschlüsse 1-9: 14-tägige Messung mittels Kabellichtlot	
5	570,03	569,94				564,03	schwach mineralisiert	GW-Aufschlüsse 10-13: Kontrollmessung m. Lichtlot beim Auslesen (4/5-wöchig)	
6	569,97	569,85				554,97	schwach mineralisiert		
7	568,19	567,99				564,19	schwach mineralisiert		
8	568,83	568,88	503,42	473,14		371,05	schwach mineralisiert	Ende der Verrohrung: 111,77 m u. BOK	
9	586,00	585,65				575,00	schwach mineralisiert		
10	518,00	518,22	489,00	473,00	468,00	418,00	Mineralwasser	p- und T-Aufzeichnung	
11	534,00	533,87	506,00	467,00	449,00	424,00	schwach mineralisiert	Drucksonde v. UBV Weischlitz nutzbar, Datenaustausch	
12	517,50	517,58	490,10	467,50	429,50	417,50	schwach mineralisiert	p- und T-Aufzeichnung	
13	465,30	466,59	397,30	392,30	390,30	364,30	Mineralwasser	p- und T-Aufzeichnung; Datenaustausch m UBV Weischlitz	
14	459,68	458,87	ohne Filterstrecke		-740,32	-740,32	Thermalsole, artesisch	p- und T-Aufzeichnung solange ungenutzt; ⁺⁾ 211 mm Ø: > 402,5 m u. BOK	

5.1.1 Messtechnik, Installation

Von den unter 5.1 vorgestellten Standorten wurden am 09. August 2011 zunächst die Lokationen Hennebach, Gürth und Vorfeldbohrung Bad Elster mit modernen kombinierten Druck-Temperatur-Datenloggern des Typs MDS Dipper-T3 der Firma SEBA HYDROMETRIE, Kaufbeuren ausgerüstet (Abb. 3, 4). Logger dieses Herstellers haben sich über Jahre im Feldeinsatz in Bad Brambach durch ihre Robustheit, Wartungsarmut, Messstabilität und gute Reproduzierbarkeit der Daten bewährt. Neben der Druckmessung bietet die Temperaturmessung zudem die Möglichkeit, signifikante Änderungen der Zuströmung unterschiedlicher Wasserkomponenten zu den Pegeln (Tiefen-, oberflächennahes Grundwasser/Niederschlag) zu identifizieren.



Abbildung 3: Standorte für das erweiterte seismohydrologische Messnetz.

1 – Brunnen Hennebach, 2 – Pegel Gürth, 3 – Brunnen Rohrbach 1, 4 – Vorfeldbohrung Bad Elster, 5 – Thermalsolebohrung Bad Elster (Kopf des Brunnenaufsatzrohres mit Edelstahlmutter und Halteseil der Drucksonde).

Die insgesamt vier angeschafften Logger haben Kabellängen von je 2x10 und 2x20 m bei einem Messbereich zwischen 0 und 10 m. Letzterer wird durch die zu erwartenden Grundwasserstandsschwankungen bestimmt, während sich die Kabellängen nach den jeweils zu erwartenden maximalen Tiefen der Grundwasserspiegel unter Brunnen-Oberkante (BOK) richten (Tab. 2). In der vorliegenden Ausführung haben die **SEBS-Dipper-T3** folgende technische Daten ([SEBA-Bedienungsanleitung MDS Dipper-T3](#)):

<u>Drucksensor</u>	Keramik-Messzelle, Messprinzip kapazitiv
Messbereich:	0–10 m
Genauigkeit:	± 0,1 % FS
Auflösung:	1 mm
Langzeitstabilität:	± 0,1 %/Jahr

Temperaturabhängigkeit:	± 0,01 %/K
<u>Temperatursensor</u>	NTC30
Messbereich:	-5...+ 50 °C
Genauigkeit:	± 0,1 °C
Auflösung:	0,002 °C
Betriebstemperatur:	-20...+ 70 °C
Speicherkapazität:	1 Mbyte Flash-Speicher (ca. 480 000 Messwerte)
Mikroprozessor:	16 bit
Auflösung:	15 bit
Stromverbrauch Standby:	max. 20 µA
Stromverbrauch Messung:	max. 8 mA
Batteriestandzeit:	8 Jahre bei 15 min Messintervall
Messintervall:	5 sec ... 45 Tage
Maße Sondenkörper:	Ø 22 mm, Länge 278 mm.

Tabelle 2: Schwankungsbreiten der Grundwasserstände im erweiterten Messnetz bis Ende Juni 2013

Messstelle	Kennung	Messstelle Geländehöhe [m NN]	Grundwasserstand [m NN]		Grundwasserstand [m über Gelände]		GW-Differenz [m]	Bemerkung
			max	min	max	min		
Bad Elster Thermalsolebohrung	BE_TSB	459,68	472,34	462,07	12,66	2,39	10,27	ab 11/2011 <i>artesisch</i>
Bad Elster Vorfeldbohrung	BE_VOR	465,30	465,22	459,73	-0,08	-5,57	5,49	ab 08/2011 März-Mai 2013: Störung durch Bohrarbeiten
Gürth	GUE	518,00	517,39	510,81	-0,61	-7,19	6,58	ab 08/2011
Hennebach	HEB	517,50	516,63	515,61	-0,87	-1,89	1,02	ab 08/2011
Rohrbach 1	RO1	534,00	527,30	525,42	-6,70	-8,58	1,88	ab 04/2011

Alle Dipper-T3 sind bei Bedarf mit einem batteriebetriebenen Online-Überwachungssystem mit GSM/GPRS-Modem (SIM-Karte) nachrüstbar, was eine Datenfernübertragung über die entsprechenden Netze ermöglicht (vergl. 5.1.2).

Die Bohrung Rohrbach 1 gehört zum Kontrollmessnetz der Brambacher Sprudel GmbH, das vom UBV Weischlitz betrieben wird. Sie enthält bereits einen älteren SEBA-MDS-1-Logger (Auflösung 0,3 mm, [Abb. 3, 3](#)). Hier wurde vereinbart, dass die Daten regelmäßig von der SAW ausgelesen und sowohl vom UBV als auch der SAW genutzt werden. Gleichermaßen wird an der Vorfeldbohrung Bad Elster verfahren, wo der MDS-1 des UBV Weischlitz gegen einen eigenen Dipper-T3 ausgetauscht wurde ([Abb. 3, 4](#)), da dort eine zusätzliche Temperaturmessung wichtiger erscheint als am GW-Aufschluss Rohrbach 1 (s. a. 5.2.1 bis 5.2.5). An allen Standorten wurden die Drucksensoren nach dem mittels Kabellichtlot gemessenen GW-Spiegel unter Brunnenoberkante (BOK) kalibriert und ein Messintervall von 15 min gewählt. Nach den Erfahrungen an den Bad Brambacher Messstellen ist diese zeitliche Auflösung für eine sichere Anomalie-Identifizierung ausreichend, gewährleistet überschaubare Datenmengen und eine hinreichend lange Batterielevensdauer.

An der Thermalsolebohrung Bad Elster wurde am 23.11.2011 eine Spezialsonde **Levellogger LT F100/M30** (Firma SOLINST, Kanada) installiert. Sie hat folgende technische Daten ([SOLINST Levellogger Series Data Sheet, Model 3001](#)):

<u>Drucksensor</u>	Piezoresistives Silikon in 316L Edelstahl
Genauigkeit:	0,05 % vom Messbereichsendwert
Auflösung:	0,002 bis 0,0006 %
Normalisierung:	automatische Temperaturkompensation
<u>Temperatursensor</u>	Platinum-Widerstands Temperaturdetektor
Genauigkeit:	± 0,05 °C
Auflösung:	0,0003 °C
Kompensationsbereich:	-10 °C bis +40 °C

Ansprechzeit:	< 1 Minute
<u>Weitere Daten</u>	
Batterielebensdauer:	10 Jahre bei 1 Messung/min
Genauigkeit der internen Uhr:	± 1 Minute/Jahr
Temperaturbereich:	-20 °C bis +80 °C
Speicherplatz:	40.000 Messungen von Druck und Temperatur
Speicher:	EEPROM, redundant backup der letzten 1.200 logs
<u>Kommunikation</u>	optisches Infrarot Interface mit RS232- oder USB-Schnittstelle
Abmessungen:	22 mm x 154 mm
Gewicht:	179 Gramm
Korrosionsschutz:	Überzug aus Zirkoniumnitrid (ZrN)
Weitere Kontaktmaterialien:	316-L Edelstahl, Delrin, Viton
Messmodus:	linear, logarithmisch, ereignisbasiert, benutzerbestimmt (30 items)
Messintervall:	0,5 s bis 99 h.

Der Levelogger misst grundsätzlich den Gesamtdruck in der verschlossenen Bohrung, also die Summe aus hydrostatischem und dem Luftdruck auf das Aquifersystem. Während die SEBA-Sonden bei den Messungen an offenen Pegeln eine automatische Luftdruckkorrektur der Daten vornehmen, muss an der TSB Bad Elster dieser Arbeitsschritt nachträglich durchgeführt werden. Der Luftdruck und andere für Korrelationen notwendigen Klimadaten werden im gleichen Zeittakt (15 min) registriert wie die Druckwerte. Besonders bei gashaltigen Grundwässern in geklüfteten Aquiferen bewirkt ein sinkender Luftdruck ein Ansteigen des Grundwasserspiegels bzw. – bei permanenten hydraulischen Senken (z. B. Quellen) – eine Erhöhung der Gasflussrate (= geringerer Gegendruck auf das lokale Fluidsystem). Umgekehrt wirken steigende Luftdruckwerte.

Seit Inbetriebnahme der Datenfernübertragung (5.1.2) brauchen nur die Messstellen RO1 und BE_TSB mindestens im 4-Wochen-Abstand zum Auslesen der Daten aufgesucht zu werden. Allerdings werden in größeren Abständen an allen Pegeln Wasserstandskontrollmessungen mittels Kabellichtlot durchgeführt.

5.1.2 Installation von Datenfernübertragungsmodulen

Nach der Testphase des erweiterten Messnetzes, die nicht zuletzt wegen der starken Seismizität von August/September 2011 im Raum Nový Kostel und Luby (CZ) so erfolgreich verlief, wurde zwischen Auftraggeber und -nehmer vereinbart, den ursprünglich für Frühjahr 2013 vorgesehenen Termin zur Ausrüstung geeigneter Stationen mit Datenfernübertragung auf den 15. November 2012 vorzuziehen. Dadurch war mehr Zeit für die Beherrschung von technischen und Übertragungsproblemen sowie für die Einarbeitung eventueller Übernahmekandidaten für das Messnetz nach Projektabschluss (11/2013) vorhanden. Zwar wurden an keiner der Stationen des erweiterten GW-Messnetzes bisher seismogene Vorläufereffekte registriert, jedoch die seismische Sensitivität an drei Standorten anhand ko-seismischer Grundwasserstandsschwankungen eindeutig nachgewiesen (Koch, 2012a, Kapitel 4.4 und Tab. 4). Entsprechend wurden die Stationen Gürth (GUE), Hennebach (HEB) und Vorfeldbohrung Bad Elster (BE_VOR) für die Datenfernübertragung vorgesehen.

Dank vorausschauender Planung und zeitnaher Gerätebestellung laufen Aufzeichnung und Datentransfer an den Stationen Hennebach und Bad Elster (Vorfeld) seit Anfang Oktober und in Gürth seit Ende November 2012 erfolgreich. Die Daten der Stationen sind sowohl per Direkteinwahl zur jeweiligen Station als auch über das SEBA-Hydrocenter jederzeit abrufbar (vergl. 5.1.2.1).

5.1.2.1 Technik

Bereits die Grundausrüstung der Stationen GUE, HEB und BE_VOR war 2011 so gewählt worden, dass eine unkomplizierte Nachrüstung mit Datenfernübertragungskomponenten möglich ist. Neben den installierten GW-Druck-/Temperatur-Loggern Dipper T3 (Koch 2012a, Kapitel 4.2) bietet die Fa. SEBA Hydrometrie (Kaufbeuren) dafür die passenden Module SlimCom als Nachrüstsätze an (Abb. 4, Tab. 3). Durch ein umfangreiches Sortiment an Antennen- und Einbauteilvarianten sind die Geräte auch an nichtstandardisierte Brunnenköpfe anpassbar, wie das in unserem Falle notwendig war.

Als Zugangsmöglichkeiten wurden sowohl die Option des direkten Kontaktes zu den Messstellen mittels Verbindungssoftware SEBAconfig als auch die Möglichkeit des Datenabrufes über das SEBA-Hydrocenter gewählt. Aus Gründen der Energieeffizienz

gehen gegenwärtig die Modems der Stationen BE_VOR, GUE und HEB montags, dienstags, donnerstags und freitags zwischen 10:10 und 11:00 MEZ jeweils für 10 min ans Netz. In diesen Zeitfenstern werden regelmäßig vom SEBA-Hydrocenter die Daten abgerufen bzw. können die Stationen direkt angewählt werden. Besonders die Internetplattform bietet einen einfachen, passwortgeschützten Zugriff auf alle Daten über die Website <http://www.seba-hydrocenter.de/projects/login.php>, was vor allem nach Übergabe der Stationen zum Projektende für den neuen Betreiber von Vorteil ist. Bis auf eine einmalige Einrichtungsgebühr ist die regelmäßige Nutzung des Hydrocenters kostenlos.



Abbildung 4: SEBA-SlimCom-Modul für die Datenfernübertragung als Nachrüstsatz zum p/T-Dipper T3. Rechts: Standardantenne, dahinter der Stecker für die Direktverbindung zu PC bzw. Notebook (Quelle: Verkaufsprospekt Fa. SEBA Hydrometrie, Kaufbeuren).

Tabelle 3: Technische Daten GFÜ-Einheit SlimCom (Angaben Fa. SEBA Hydrometrie)

Gehäuse	Aluminium, IP67
Abmessungen	Standard: Ø 35 mm, Höhe 350 mm inkl. Antenne: Ø 35 mm, Höhe 390 mm
Modem	GSM Standard, 850/900MHz/1800/1900MHz (GSM, Quadband), GPRS
Betrieb	1,8/3V-SIM-Karte
Antenne	
Standard	integriert, robust und witterungsbeständig
Puck	zur Montage auf Brunnen-/Pegeldeckel, robust, witterungsbeständig
Schnittstellen	
Standard	RS 485
Option	Bluetooth
SMS-Alarm	8 x SMS-Alarm auf Mobiltelefon SMS-Alarm auf FAX-Gerät
Zeitschlitz	frei programmierbar
Stromversorgung	
Standard	3 x 1,5V Alkali-Mangan-Batterien Standzeit: >2 Jahre bei 1 Abruf/Tag
Option	2 x 3,6V Lithium-Batterien Standzeit: >8 Jahre bei 1 Abruf/Woche (abhängig von der Qualität der GSM-Verbindung)
Betriebstemperatur	-20° bis +70°C

5.1.2.2 Besonderheiten an den Standorten des erweiterten Messnetzes

Nach eingehender technischer Recherche sowie Überprüfung der Netzabdeckung vor Ort mittels eines Testmobiltelefons und entsprechender Telekom-Datenkarte wurde der Fa. Böhm (Plauen) der Auftrag für die drei speziellen Daten-SIM-Karten erteilt. Letztere wurden direkt an die Fa. SEBA geliefert, dort in die SlimCom-Modems eingebaut und standortbezogen konfiguriert.

Table 4 gibt einen Überblick über gestalterisch-technische Besonderheiten und die Unterschiede in den Mobilfunkempfangsbedingungen an den Messstellen Bad Elster (Vorfeld), Gürth und Hennebach. Während sich BE_VOR in einer Blechhütte befindet, wo die Empfangsbedingungen im deutschen Netz so gut sind, dass die integrierte Stabantenne des SlimCom-Moduls ausreicht, sind an den Pegeln HEB und GUE massive Brunnendeckel vorhanden, unter denen der Funkempfang instabil bis unmöglich ist. Abhilfe bot hier jeweils die Montage einer zusätzlichen Puckantenne auf dem Pegeldeckel (Abb. 5), bei der Mitarbeiter der Bad Brambacher Mineralquellen GmbH großzügige technische Hilfe leisteten.

Empfangsprobleme im deutschen Netz gibt es am Brunnen Hennebach, der sich unmittelbar an der Grenze zu Tschechien befindet. Hier musste eine SIM-Karte mit Roaming-Funktion gewählt werden, um eine Datenübertragung überhaupt zu realisieren.

Der Mobilfunkempfang am Pegel Gürth war erst Ende November 2012 möglich, nach der Inbetriebnahme des zuvor auf der Anhöhe "Gürther Kreuz" errichteten Funkmastes.

Zu den in [Tabelle 4](#) angeführten Kosten kommen noch die Anrufgebühren für denjenigen Telefonanschluss hinzu, der mittels SEBAconfig-Software direkten Kontakt mit den Stationen aufnimmt. Bis zum Ende des Forschungsvorhabens werden diese Beträge aus dem Projekthaushalt finanziert. Danach müsste der seit 01.08.2012 für 24 Monate laufende Vertrag mit der Telekom AG vom zukünftigen Betreiber des seismohydrologischen Grundwassernetzes übernommen werden.

Tabelle 4: Messstandorte und ihre technische Ausrüstung zur Datenfernübertragung

Messstelle [Kennung]	Geographische Koordinaten [°]		Datenlogger SEBA-Dipper T3	Variante SEBA-Daten- übertragungsmodul	Tarif für Telekom-Datenkarte (Fa. Böhm, Plauen)	Voraussichtliche monatliche Kosten
	N Breite	E Länge	Nr.			
Bad Elster Vorfeldbohrung [BE_VOR]	50.289	12.244	C45738	SlimCom sl000810 mit integrierter Stan- dardantenne	Data30 (national), inkl. 30 MB/Monat	5,00 €
Gürth [GUE]	50.255	12.250	C45713	SlimCom sl000812 mit Puck-Antenne	Data30 (national), inkl. 30 MB/Monat	5,00 €
Hennebach [HEB]	50.245	12.356	C45679	SlimCom sl000811 mit Puck-Antenne	Data10 (europa), inkl. 10 MB/Monat	13,50 €
					Einmalige Anschlussgebühren	39,00 €



Abbildung 5: Grundwassermessstelle Pegel Gürth (GUE).
Links: SEBA-Druck-/Temperatursonde Dipper T3 mit SlimCom-Modul für die Datenfernübertragung und Brunnenrohr, auf dessen Deckel die Puckantenne montiert ist. Rechts: Detailansicht von p/T-Sonde (r) und SlimCom-Modul (l).

5.2 Messergebnisse

Bevor zuverlässige Aussagen zu einer Reaktion des Grundwasserstandes auf seismotektonische Vorgänge getroffen werden können, bedarf es nicht nur einer signifikanten lokalen Seismizität, sondern vor allem ausreichend langer Backgroundmessungen an den neuen Standorten. Diese sind die Voraussetzung, um vor allem meteorologische Einflüsse auf das Grundwasserregime (Luftdruck, Niederschläge) erkennen und im Falle seismisch induzierter Anomalien entsprechend separieren zu können.

Die Daten aus dem erweiterten Grundwassermessnetz geben nach etwa zwei Jahren Beobachtungsdauer einen guten Einblick in das unterschiedliche Verhalten der Standorte gegenüber Niederschlags-, Luftdruck-, Temperatur- und Erdgezeiteneinflüssen. Dies soll in den folgenden Abschnitten für die einzelnen Brunnen und Pegel des erweiterten Messnetzes diskutiert werden.

Die Grundwasserstände weisen eine Schwankungsbreite zwischen 1,02 m (HEB) und 6,58 m (GUE) auf, was hauptsächlich auf Unterschiede in der Lage, der Morphologie und der Bewaldung der oberirdischen Einzugsgebiete sowie auf die hydraulischen Charakteristika der Grundwasserleiter selbst zurückzuführen ist (s. a. [Tab. 2](#)).

Besonderheiten gibt es in Bad Elster: Unmittelbar neben der Vorfeldbohrung (BE_VOR) wurde im Frühjahr 2013 eine weitere, 450 m tiefe Bohrung zur Überwachung des Einflusses der Thermalsolebohrung bei deren geplanter Nutzung niedergebracht. Dadurch ist an BE_VOR der Grundwasserspiegel um über 5 m gefallen und steigt nach den Bohrarbeiten nur langsam wieder an. Derzeit ist noch nicht absehbar, ob das Grundwasser wieder auf das vorherige Niveau ansteigen wird, da möglicherweise durch Bohrspülung und/oder Zementierarbeiten am neuen Nachbarpegel wasserwegsame Klüfte dauerhaft verschlossen wurden. Ob damit auch die 2011 nachgewiesene seismische Sensitivität der Lokation beeinträchtigt worden ist, können nur zukünftige Messungen zeigen. Sollte dies der Fall sein, wird empfohlen, die Mess-/Übertragungstechnik an den neuen, tieferen Nachbarpegel umzusetzen.

An der 1200-m-Thermalsolebohrung (BE_TSB) wurden im Januar 2013 umfangreiche geophysikalische Untersuchungen durchgeführt, bei denen der Arteser geöffnet war und tagelang überlief. Durch den Soleaufstieg wurde dabei das Wasser stark aufmineralisiert, was zu einem Dichteanstieg in der Wassersäule und einer damit verbundenen Abnahme des Kopfdruckes von 9 m auf etwa 2–3 m ü. Gel. führte (Messpunkt ca. 1,3 m u. BOK). Entsprechend sind auch hier die Druckschwankungsbreiten von 2,33 m ([Koch 2012a](#), [Tab. 3](#)) auf 10,06 m gestiegen ([Tab. 2](#)).

Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Erdbebendaten stammen von der Homepage des Sachsennetzes, Universität Leipzig¹⁾. Niederschlag, Luftdruck und -temperatur wurden an der Klimastation Bad Brambach, Kurpark, gemessen.

5.2.1 Brunnen Rohrbach 1 (RO1)

Dank des Datenaustausches mit der Umwelt GmbH Vogtland Weischlitz war es am Brunnen Rohrbach 1 möglich, gegenüber den anderen Standorten einen Datenvorlauf auszuwerten, der bis Ende April 2011 zurückreicht ([Koch 2012a](#), [Abb. 13](#)). Zur besseren Vergleichbarkeit mit den übrigen Pegeln ist jedoch in [Abb. 6](#) der Zeitraum August 2011 bis September 2013 dargestellt, der je zwei typische Perioden des Grundwasserrückganges und der Grundwasserneubildung umfasst.

Wie bereits 2011 festgestellt und diskutiert wurde, zeigen sich in Rohrbach neben dem GW-Langzeittrend überwiegend geringe Einflüsse ausgeprägter Luftdruckvariationen, deren Wirkung mit sinkendem Wasserspiegel noch abnimmt ([Koch 2012a](#)). Auf einzelne Starkniederschläge reagiert der Grundwasserstand kaum. Dies ist typisch für die Pufferwirkung eines überwiegend bewaldeten Einzugsgebietes vom Hochflächentyp. Üblicherweise wird das Maximum des Grundwasserstandes unmittelbar nach der Schneeschmelzperiode erreicht, das Minimum zwischen Oktober und Dezember. Eine Ausnahme bildet der starke GW-Anstieg auf den Maximalwert von 527,30 m ü. NN etwa 3 Wochen nach den Niederschlägen, die zum Katastrophenhochwasser Anfang Juni 2013 in Mitteldeutschland und Bayern führten. Dadurch erhöhte sich die maximale Differenz zwischen GW-Maximum und -Minimum von bisher 1,82 m auf 1,88 m ([Tab. 2](#)).

Die fehlende Reaktion dieser Bohrung auf die Seismizität vom Spätsommer 2011 führte zu der Entscheidung, an dem Standort vorerst weder eine nachrüstfähige Dipper-T3-Sonde noch ein Datenfernübertragungsmodul zu installieren. Er wurde aber weiterhin im Untersuchungsprogramm belassen, da er zusammen mit Gürth einen sehr ruhigen, von kurzfristigen meteorologischen Ereignissen praktisch unbeeinflussten Verlauf zeigt (s. a. 5.2.2). Dies und die geringe innerjährliche GW-Schwankungsbreite gestatten eine relativ leichte Identifizierung potenzieller seismogener Anomalien.

¹⁾ www.uni-leipzig.de/collm/auswertung_temp.html

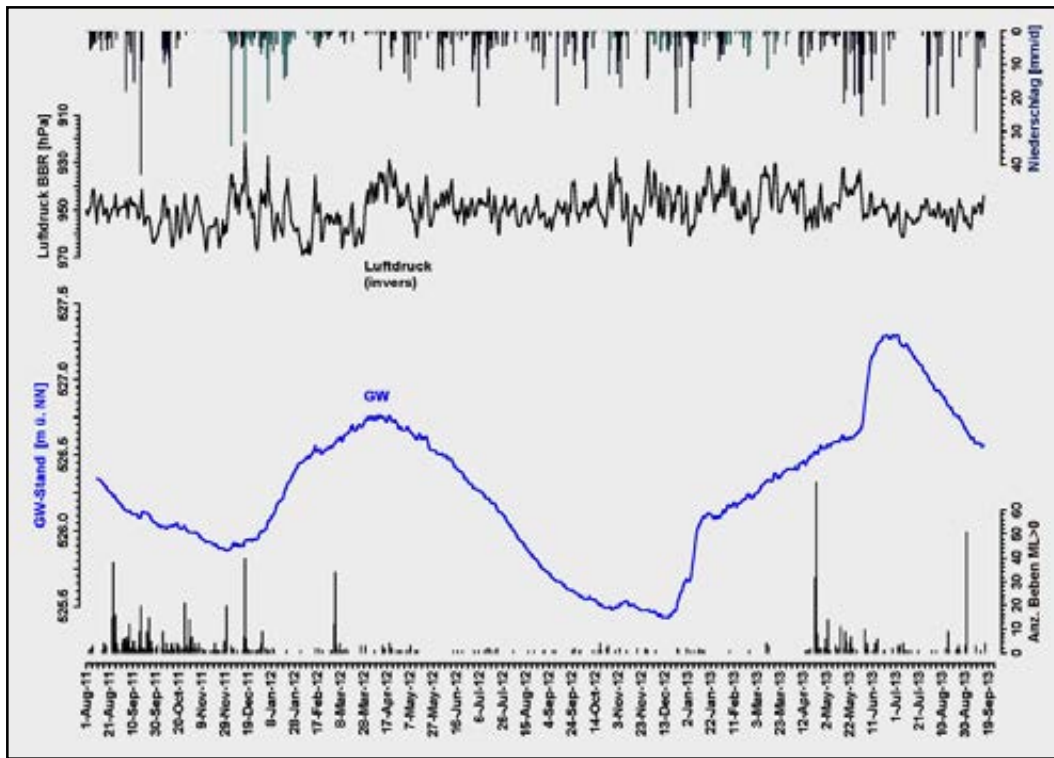


Abbildung 6: Grundwasserstand, Luftdruck und Niederschlag am Brunnen Rohrbach 1, Tagesmittel 2011-2013. Typisch für die Pufferwirkung eines überwiegend bewaldeten Einzugsgebietes ist die geringe Wirkung einzelner Starkniederschläge auf den Grundwasserstand (Niederschlag: Regen – dunkelblau, Schnee – hellblau; Seismizität: Nový Kostel/Luby).

5.2.2 Pegel Gürth (GUE)

Nach der typischen Grundwasserneubildungsphase, besonders als Reaktion auf die Starkniederschlagsperiode vom Dezember 2011, zeigt sich am Pegel Gürth ein nahezu unbeeinflusster GW-Rückgang, der nur von einem durch die Frühlings Schneeschmelze verursachten Anstieg unterbrochen wird (Abb. 7). Mitte Oktober 2012 wird das Minimum von 510,81 m ü. NN erreicht (Tab. 2). Eine erste Grundwasserneubildungsphase beginnt Ende Dezember 2012. Ihr folgen bis April mehrere Abschnitte ansteigenden GW, die von Regen bzw. Schneeschmelze hervorgerufen wurden. Der starke Dauerregen Ende Mai/Anfang Juni 2013 ließ den Grundwasserstand auf den Maximalwert von 517,39 m ü. NN ansteigen. Neben der hohen Vorfeuchte der Böden trug dazu besonders die Behinderung des hypodermischen Abflusses durch den stark angeschwollenen benachbarten Gürther Bach bei. Damit ist Gürth der Pegel mit der höchsten Wasserstandsdiﬀerenz: 6,58 m (Tab. 2). Ungewöhnlich ist auch, dass das winterliche Lufttemperaturminimum erst etwa 7 Monate später im Grundwasser wiedergespiegelt wird (siehe auch Abb. 10). Die offenbar vom Zustrom jungen, kalten Wassers verursachten Temperaturfluktuationen sind nur bei stärkerer zeitlicher Auflösung sichtbar. Sie werden nach Eintritt des Temperaturminimums wieder deutlich geringer. Der Luftdruckeinfluss ist wie auch die nachgewiesene Erdzeitenwirkung vernachlässigbar im Vergleich zu potenziellen seismogenen GW-Schwankungen, wie sie im August 2011 registriert werden konnten (Koch 2012a, Abb. 15; Koch 2012b, Abb. 4). Damit bestätigt sich der bisherige Eindruck, dass es sich in Gürth um ein verhältnismäßig großes Grundwassereinzugsgebiet mit relativ geringen Porositäten bzw. Kluftdurchlässigkeiten und mächtigen Deckschichten handelt, besonders im Talbereich. Dafür spricht auch die Morphologie des Geländes, die durch ein starkes Gefälle der Talflanken gekennzeichnet ist. Besonders der sehr stetige, von kurzen Starkregen unbeeinflusste GW-Verlauf spricht für die seismohydrologische Eignung der Messstelle.

Der Pegel Gürth gehört zum sächsischen Grundwasserbeobachtungsnetz. Die zweimal jährlich stattfindenden und jeweils angekündigten Beprobungen (Abb. 7) stellen keine Beeinträchtigung für das seismohydrologische Beobachtungsregime dar.

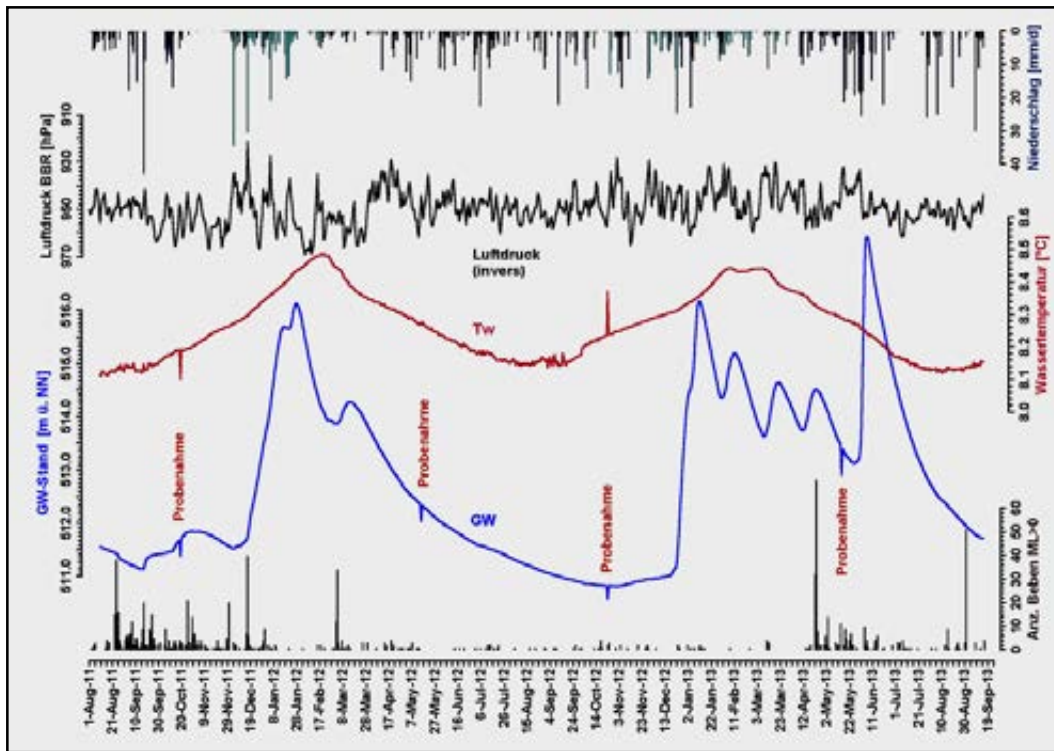


Abbildung 7: Grundwasserstand, -temperatur, Luftdruck und Niederschlag am Pegel Gürth, Tagesmittel 2011-2013. Der GW-Stand wird praktisch nicht durch Luftdruck und kurzzeitige Niederschläge (außer extreme Starkregen) beeinflusst (Niederschlag: Regen – dunkelblau, Schnee – hellblau; Seismizität: Nový Kostel/Luby).

5.2.3 Vorfeldbohrung Bad Elster (BE_VOR)

Ebenfalls die Vorfeldbohrung Bad Elster wurde im August 2011 als seismisch sensitiv identifiziert, obwohl sie von allen Messpunkten am weitesten vom Epizentrum nordöstlich von Nový Kostel entfernt liegt. Verglichen mit Gürth zeigen Grundwasserstand und Lufttemperatur jedoch Verläufe, wie sie für einen stärker von oberflächennahem Grundwasser geprägten Aquifer typisch sind (Abb. 8).

Bis Dezember 2012 lagen die GW-Stände mit etwa 2–2,5 m unter Gelände deutlich höher als in Gürth (3–8 m) und wiesen in der Grundwasserneubildungsperiode steilere Anstiegs- und Abklingphasen auf. Die innerjährlichen Wassertemperaturdifferenzen betragen 0,8 K und sind damit doppelt so hoch wie in Gürth. Dagegen betrug die zeitliche Verschiebung zwischen den Minima der Luft- und Wassertemperaturen nur 4 Monate (Gürth: 7 Monate, siehe auch Abb. 10). An BE_VOR hatten wir es demnach mit einer wesentlich flacheren Zirkulation zu tun, die vom Flussschotteraquifer der Weißen Elster geprägt wurde und trotz verhältnismäßig tief liegender, aber kurzer Filterstrecke für den hohen Anteil oberflächennahen Grundwassers verantwortlich war. Ähnlich wie in Gürth sind der geringe Luftdruckeinfluss und die bei höherer zeitlicher Auflösung sichtbare Erdgezeitenwirkung zu bewerten (Koch 2012a, Abb.16), die auch hier die sichere Identifikation seismogener Anomalien nicht beeinträchtigte.

Ein anderes Bild bietet sich seit etwa März 2013, wo nur etwa 3-4 m westlich der Vorfeldbohrung (Tiefe: 100 m) ein zusätzliches 450-m-Bohrloch (BE_VOR_neu) niedergebracht wurde, um die 1200 m tiefe Thermalsolebohrung (TSB) bei deren zukünftiger Nutzung überwachen zu können. Diese Bohrung lief bis zu ihrem vorläufigen Verschluss am 20.06.2013 artesisch über und wirkte sich auch auf die Druckverhältnisse in der Thermalsolebohrung aus (Abb. 11). Am Pegel an BE_VOR ist der Grundwasserspiegel um über 5 m gefallen und steigt nach den Bohrarbeiten nur langsam wieder an. Entsprechend hat sich die GW-Schwankungsbreite hier von 1,53 m auf 5,59 m erhöht (Tab. 2). Trotz eines auch während der Sommermonate anhaltenden Aufwärtstrends ist noch nicht absehbar, ob das Grundwasser wieder auf das vorherige Niveau ansteigen wird, da möglicherweise durch Bohrspülung und/oder Zementierarbeiten am Nachbarpegel wasserwegsame Klüfte dauerhaft verschlossen wurden. Ob außerdem die 2011 nachgewiesene seismische Sensitivität der Lokation noch existiert, können nur zukünftige Messungen zeigen. Dazu wären aber signifikante Schwarmbebenperioden erforderlich. Vorteilhafter wäre es dagegen, die Mess- und Über-

tragungstechnik an BE_VOR_neu umzusetzen, nicht zuletzt um hier die Zeit für entsprechende Backgroundmessungen im Vorfeld potenzieller Beben zu nutzen. Das wäre aber nur möglich, wenn diese Bohrung nicht mehr artesisch überläuft.

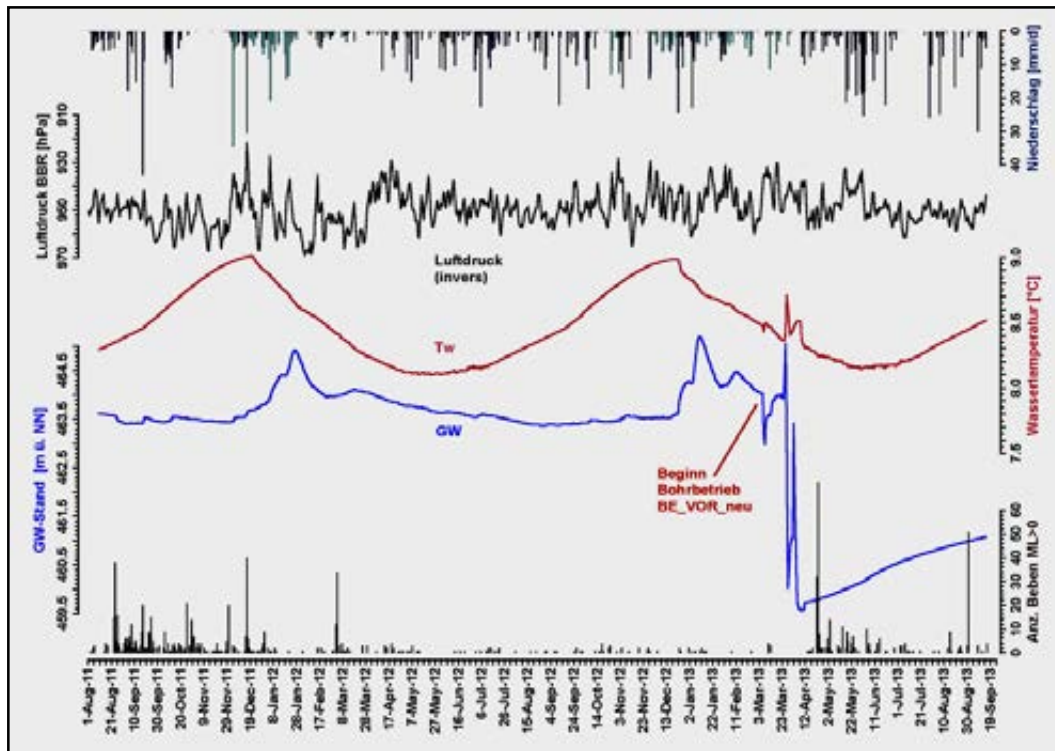


Abbildung 8: Grundwasserstand, -temperatur, Luftdruck und Niederschlag an der Vorfeldbohrung Bad Elster, Tagesmittel 2011-2013. Im Vergleich zu Gürth deuten Grundwasserstand und Lufttemperatur bis März 2013 auf einen stärker von oberflächennahem Grundwasser geprägten Aquifer hin (Niederschlag: Regen – dunkelblau, Schnee – hellblau; Seismizität: Nový Kostel/Luby).

5.2.4 Brunnen Hennebach (HEB)

Der Brunnen Hennebach ist der Standort im neuen Beobachtungsnetz, welcher mit einem GW-Flurabstand von max. 1,8 m die stärkste Beeinflussung durch oberflächennahes Grundwasser aufweist (Abb. 9). Sein Regime wird hauptsächlich vom nur wenige Meter entfernt vorüber fließenden Hennebach bestimmt. Mit 1,02 m sind die innerjährlichen Grundwasserschwankungen entsprechend gering, die Starkregenimpulse aber deutlich. So erreichte nach dem Dauerregen Ende Mai 2013 der GW-Stand einen Höchstwert von nur 0,87 m u. Gelände (Tab. 2).

Das Einzugsgebiet besteht überwiegend aus Wiesen- und Ackerflächen und hat nur ein geringes Geländegefälle. Die maximale Differenz der Wassertemperaturen beträgt etwa 1,0 K und ist damit die höchste aller Stationen. Wie am Pegel BE_VOR folgt das Minimum der Wasser- dem der Lufttemperatur im Abstand von 4 Monaten (siehe auch Abb. 10). Der Grundwasserstand zeigt auch in Hennebach eine Reaktion auf Erdzeiten, die aber wesentlich weniger ausgeprägt ist als an den Messpunkten GUE und BE_VOR.

In Hennebach war am 26.08.2011 ebenfalls eine ko-seismische Anomalie registriert worden, die sich allerdings im Gegensatz zu GUE und BE_VOR als Anstieg des GW-Standes bemerkbar machte (Koch 2011, 2012a). Eine Erklärung für das unterschiedliche ko-seismische Verhalten der GW-Standorte GUE und BE_VOR einerseits und HEB andererseits wird man erst nach Auswertung weiterer seismogener GW-Anomalien finden können. Das setzt allerdings längere Beobachtungszeiträume mit entsprechender lokaler Seismizität voraus. Durch seine geringe Entfernung von nur etwa 7,5 km westlich der Epizentren Nový Kostel und Luby (CZ) erscheint der Brunnen Hennebach trotz seiner Niederschlagsbeeinflussung als seismohydrologischer Standort gut geeignet.

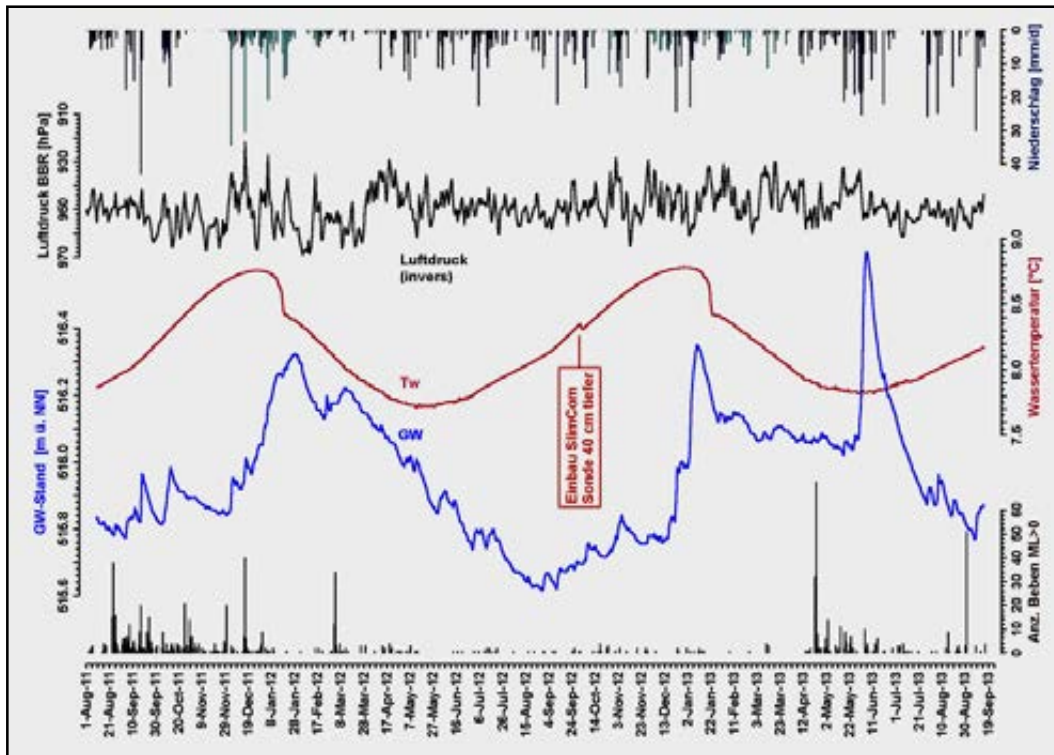


Abbildung 9: Grundwasserstand, -temperatur, Luftdruck und Niederschlag am Brunnen Hennebach, Tagesmittel 2011-2013. Die Station weist die stärkste Beeinflussung durch oberflächennahes Grundwasser im erweiterten Messnetz auf (Niederschlag: Regen – dunkelblau, Schnee – hellblau; Seismizität: Nový Kostel/Luby).

5.2.5 Grundwassertemperaturen von GUE, BE_VOR und HEB

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Grundwassertemperaturen von drei der mit kombinierten Druck-/Temperatursonden ausgerüsteten Messstellen BE_VOR, GUE und HEB zusammen mit den Tagmitteln der Lufttemperatur in einer Darstellung zusammengefasst (Abb. 10). Geht man vom Minimum der Lufttemperatur etwa Ende Januar aus, so reagieren die GW-Temperaturen an den Pegeln mit zeitlichen Verschiebungen von 4 bis max. 5 (BE_VOR, HEB) und fast 7 Monaten (GUE). Nahezu die gleichen Reaktionszeiten zeigen sich nach dem Maximum der Lufttemperatur im Juli/August: Die entsprechenden GW-Temperaturmaxima werden dann zwischen Ende Dezember (BE_VOR, HEB) und Mitte März (GUE) beobachtet. Auch das Ende der hochfrequenten Temperaturfluktuationen, die in ihrer standortspezifischen Ausprägung die jeweilige Zumischungsdauer oberflächennaher Wässer widerspiegeln, tritt sowohl 2011 als auch 2012 im Sommer/Herbst zeitversetzt an den drei Pegeln auf (vergl. Koch 2012a, Abb. 20).

5.2.6 Thermalsolebohrung Bad Elster (BE_TSB)

An der zusätzlich ins Programm aufgenommenen artesischen Thermalsolebohrung Bad Elster haben die Messungen erst nach der seismischen Periode von August/September 2011 begonnen, so dass über Reaktionen auf lokale Seismizität bisher keine Aussagen getroffen werden konnten. Die Druck-/Temperatursonde arbeitet in der verschlossenen, 1200 m tiefen Bohrung unter Überdruck und registriert die Summe aus Grundwasser- und atmosphärischem Druck sowie die Wassertemperatur 1,3 m unter dem Brunnenkopf. Da ohne freien Abfluss oder Entnahme im Bohrloch praktisch keine Wasserbewegung stattfindet, wird der Verlauf der Temperaturkurve vorwiegend durch die Umgebungstemperatur an der Messstelle bestimmt (Abb. 11, rote Kurve). Die blaue Ganglinie zeigt den Wasserüberdruck in m über NN nach Subtraktion des Luftdruckes und der Umrechnung auf das geodätische Niveau der Messstelle. Die regelmäßigen Breaks sind auf den bei der Datengewinnung notwendigen Ausbau der Sonde zurückzuführen.

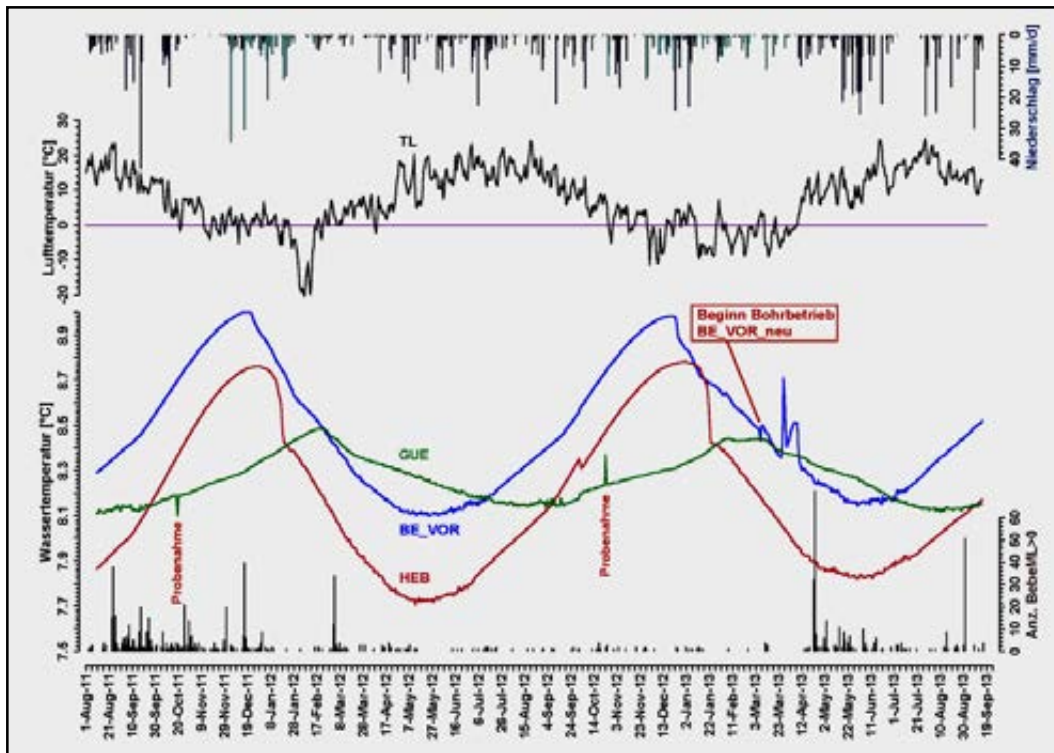


Abbildung 10: Grundwassertemperaturen im erweiterten Messnetz, Tagesmittel 2011-2013. Die GW-Temperaturen reagieren mit zeitlichen Verschiebungen von 4–5 (BE_VOR, HEB) und fast 7 Monaten (GUE) auf den Jahresgang der Lufttemperatur (Niederschlag: Regen – dunkelblau, Schnee – hellblau; Seismizität: Nový Kostel/Luby).

Der artesische Überdruck betrug zu Beginn der Messkampagne im November 2011 ca. 12 m WS (1,2 bar) über Gelände und ist bis Mitte November 2012 um über 3 m zurückgegangen (Abb. 11, Abschnitt 1), 1 m mehr als noch im April 2012 (Koch 2012a). Eine saisonale Ursache für dieses Verhalten ist auszuschließen. Als nach geophysikalischen Tests und längerem Überlauf im Januar 2013 der Kopfdruck des Artesers um weitere ca. 6 m gefallen war (Abb. 11, Abschnitt 2), konnte dieser Druckabnahme-effekt auf die Aufsatzung der Wassersäule durch die anhaltende vertikale Strömung von hochmineralisiertem Tiefenwasser zurückgeführt werden. Die hohe Dichte des Wassers in der Bohrung führte so zu einem niedrigeren Druck am Brunnenkopf. Damit ist auch der stetige Rückgang bis November 2012 erklärbar: Bei der regelmäßigen Öffnung der Fassung zum Auslesen der p/T-Sonde kam es jeweils zu einem 10- bis 20-minütigen Überlauf, der eine wesentlich geringere, aber sukzessive Aufsatzung der Wassersäule bewirkt haben könnte. Offenbar wurde das TSB-Druckregime ab März 2013 aber zusätzlich von den Bohrarbeiten am Pegel BE_VOR_neu beeinflusst (vergl. 5.2.3). Indirekt wird dies hier an einem beginnenden Druckanstieg nach dem Verschluss des Artesers BE_VOR_neu am 20.06.2013 sichtbar (Abb. 11).

Erwartungsgemäß zeigen sich an der TSB Bad Elster keine Niederschlagseinflüsse und auch nur geringe Luftdruckeffekte. Im Vergleich zu den übrigen Standorten sind hier aber die Erdgezeiteneffekte mit ± 10 cm um etwa den Faktor 10 größer (Koch 2012a, Abb. 19; Koch 2012b, Abb. 8).

Die Bohrung BE_TSB ist allein aufgrund ihrer Tiefe von 1200 m seismohydrologisch interessant, trotz oder gerade wegen des deutlichen Erdgezeiteneffekts. Eine Ausrüstung mit Datenfernübertragungsmodul ist wegen des notwendigerweise anderen Sondentyps nicht nur technisch kompliziert, sondern auch wenig sinnvoll, da mit dem bevorstehenden Hotelneubau in Bad Elster auch die Errichtung eines Thermalwasserbeckens und die Nutzung der Solebohrung einhergehen sollen. Bis dahin sollten die Daten zur Erweiterung grundlegender seismotektonisch-fluidodynamischer Kenntnisse weiterhin vor Ort per Notebook erfasst und ausgewertet werden.

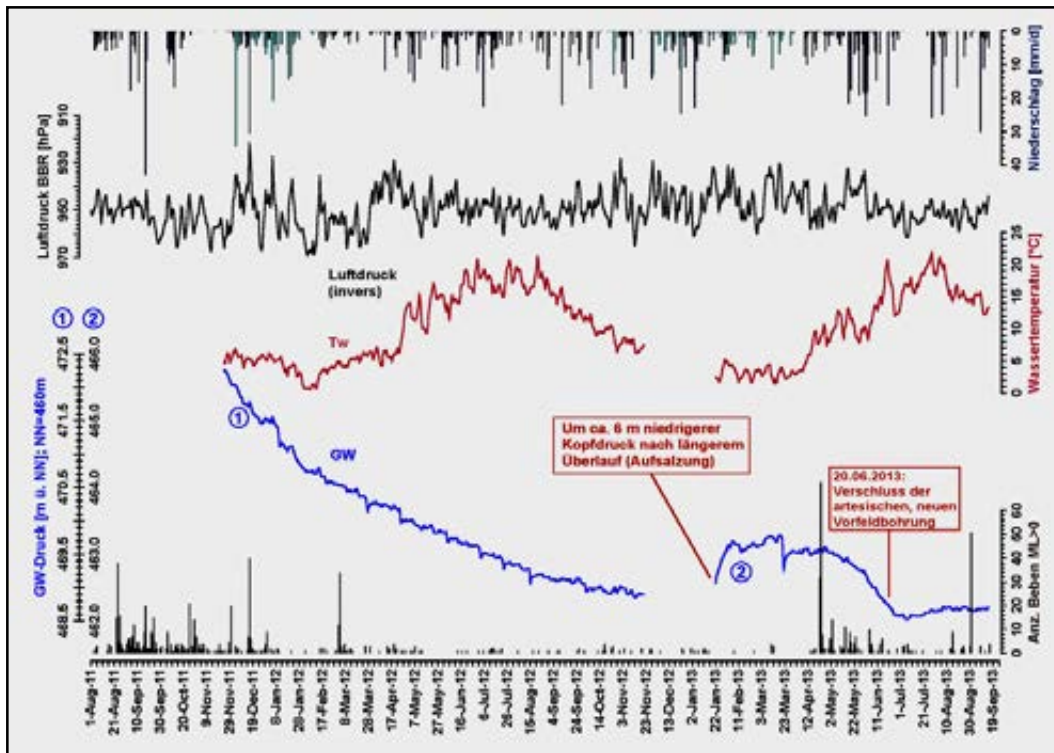


Abbildung 11: Artesischer Druck, Wassertemperatur, Luftdruck, Niederschlag an der Thermalsolebohrung Bad Elster, Tagesmittel 2011-2013.
 Der artesische Überdruck ging binnen eines Jahres um > 3 m WS zurück. Nach längerem Überlauf fiel Ende Januar 2013 der Druck um weitere 6 m. Der Erdgezeiteneffekt ist deutlich ausgeprägt. Die regelmäßigen Breaks entstehen beim Ausbau der Sonde zur Datengewinnung (Niederschlag: Regen – dunkelblau, Schnee – hellblau; Seismizität: Nový Kostel/Luby).

5.2.7 Bad Brambach – Pegel VL4T und GW1

Nach einem Erdbebenvorläufereffekt von etwa 3,5 Tagen am 20.08.2011 (Koch 2012a, Abb. 11) traten am Pegel VL4T bis heute keine weiteren seismogenen GW-Anomalien auf, die mit denen der Jahre 2000 und 2008 vergleichbar wären (Abb. 12; Koch et al. 2003, Koch & Heinicke 2010).

Das wird besonders an der Differenzganglinie zwischen dem seismisch sensitiven Pegel VL4T und dem Vergleichspegel GW1 deutlich, deren Abweichung von einem theoretisch horizontalen Verlauf im wesentlichen auf unterschiedliche GW-Retentionsverhältnisse an den beiden Standorten zurückzuführen ist. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt nach der Starkregenperiode Anfang Juni 2013, die zu dem Katastrophenhochwasser in Süd- und Mitteldeutschland führte. Einzelne negative Spitzen werden durch die schnellere Reaktion von VL4T auf den Anstieg des Bachwasserstandes nach Starkregen oder Schneeschmelze verursacht. Verglichen mit anderen Jahren sind die Grundwasserstände im Sommer 2013 durch das Juni-Hochwasser regional außergewöhnlich hoch. Besonders die lange Dauer dieses Niveaus über etwa neun Monate bedeutet einen anhaltend hohen hydraulischen Gegendruck auf das Aquifersystem und kann den Aufstieg von tiefen Fluiden behindern. Koch und Heinicke (2010, Kap. 3.2.2.4.2) diskutieren ausführlich, wie dies zur Triggerung von lokalen Erdbeben führen kann, einen kritischen tektonischen Spannungszustand vorausgesetzt.

Wegen eines technischen Defektes des SEBA-Dippers T2 am Pegel VL4T wurde diese Sonde Anfang August 2012 durch den vierten, als Reserve vorgesehenen SEBA-p/T-Dipper T3 ersetzt, wie er auch an den Stationen des erweiterten GW-Messnetzes verwendet wird. Damit ergeben sich auch für diesen Standort zusätzliche Vorteile:

- Durch den integrierten Temperatursensor können bei Bedarf die Temperaturwerte zur besseren Identifikation bzw. Zuordnung von Niederschlags-/Bacheinflüssen besonders während hydrologischer Extremsituationen hinzugezogen werden.
- Es besteht die Möglichkeit einer Nachrüstung mit Datenfernübertragungsmodul, wenn wissenschaftliches Personal nicht mehr ständig vor Ort sein sollte.

In [Abbildung 12](#) sind die Wassertemperaturen allerdings nicht dargestellt worden, da sie erst ab August 2012 vorliegen und seither keine Zusatzinformationen für die seismohydrologische Auswertung der GW-Stände geliefert haben.

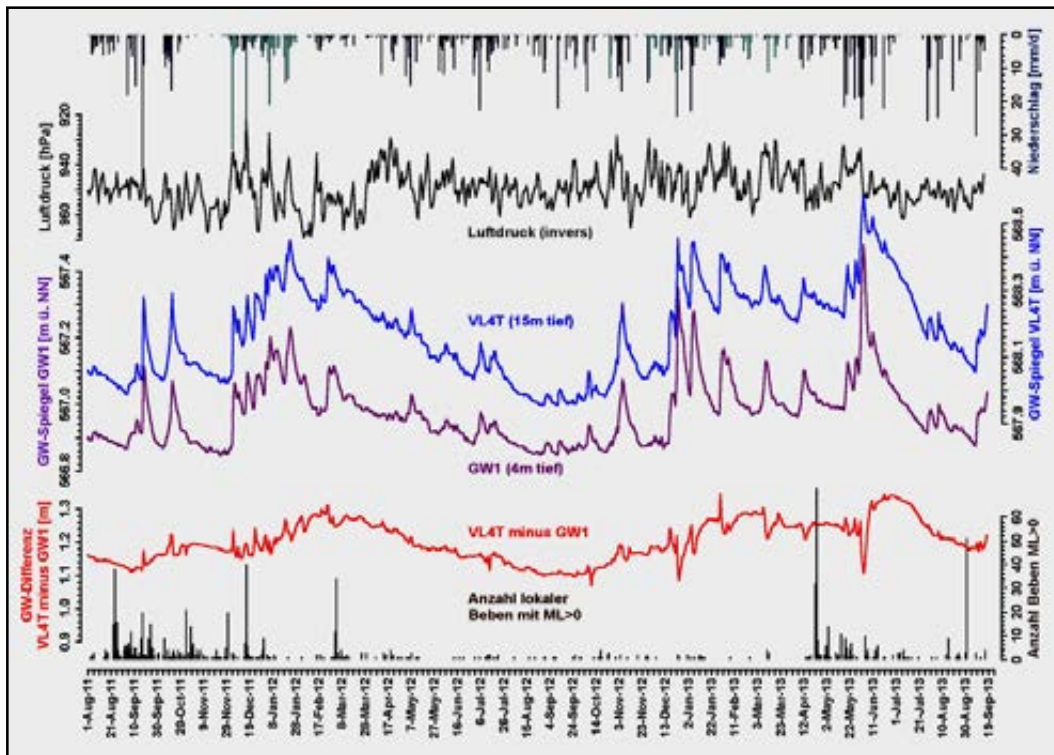


Abbildung 12: Grundwasserstände, GW-Differenzkurve, Luftdruck und Niederschlag Bad Brambach, Tagesmittel 2011-2013.

Die Abweichung der Differenzlinie vom (theoretisch) horizontalen Verlauf ist im wesentlichen auf unterschiedliche Retentionsverhältnisse am Pegel VL4T (seismisch sensitiv) und dem Vergleichspegel GW1 zurückzuführen. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt nach den Starkregen Anfang Juni 2013 (Niederschlag: Regen – dunkelblau, Schnee – hellblau; Seismizität: Nový Kostel/Luby).

6 Seismohydrologische Relevanz der Messstellen

Eine Übersicht zur seismohydrologischen Charakterisierung der Messstandorte und zur Einschätzung ihres Potentials im Hinblick auf die Ableitung von Parametern zur Bebenvorhersage gibt [Tabelle 5](#). Sie baut auf den in den vorherigen Berichten enthaltenen Übersichten auf und ist entsprechend aktualisiert worden. Grundsätzlich sollten alle Standorte mit mindestens einer grünen Markierung (✓) weiter beobachtet werden. Das trifft auch auf den Brunnen RO1 zu, da das Fehlen von Vorläufer- oder ko-seismischen Anomalien nicht bedeutet, dass es nicht doch zu solchen Effekten kommen kann, wenn die Epizentren künftiger Beben wieder direkt in Nový Kostel oder in einem noch näheren Cluster liegen, z. B. nördlich von Bad Brambach ([Abb. 2](#)). Erfreulicherweise wurden an drei der fünf neu eingerichteten Messstellen ko-seismische Effekte gemessen. Ob es hier reale Vorläufereffekte gegeben hat, kann nicht entschieden werden, da mit den Messungen (außer an RO1) erst zwei Wochen vor dem Einsetzen der starken Seismizität begonnen wurde. Deshalb wird auch empfohlen, die Thermalsolebohrung Bad Elster weiter zu beobachten, solange dies technisch möglich ist und das Wasser nicht genutzt wird. Dort hatten die Messungen erst im November 2011 begonnen, weit nach der seismischen Hauptperiode.

Was die Angabe seismohydrologischer Kriterien für eine Prognose angeht, so zeigen die Ergebnisse, dass bereits Schwankungen des Grundwasserstandes von $\pm 2,5$ cm als Anomalie gelten können, wenn die nicht-seismischen Einflüsse exakt separierbar sind. Sicherheitshalber sollten beim gegenwärtigen Kenntnisstand aber erst GW-Differenzen von mindestens ± 5 cm als seismogene Anomalie in Betracht gezogen werden. Da bisher im erweiterten GW-Messnetz "nur" ko-seismische Schwankungen gemessen wurden, ist die Höhe möglicher GW-Differenzen bei potenziellen Bebenvorläufern nur schwer einzuschätzen. Nach den Erfahrungen in Bad Brambach können diese wesentlich höher und auch zeitlich ausgedehnter ausfallen (Pegel VL4T im August 2000: + 25 cm, 4 Wochen Dauer; [Koch et al. 2003](#)).

Es muss ausdrücklich betont werden, dass es sich hier nicht um eine abschließende Bewertung handeln kann, auch wenn das Projekt in dieser Form eingestellt wird. Zwar waren die Schwarmbeben vom August/September 2011 für die Untersuchungen außerordentlich wertvoll, dennoch reicht ein Gesamtbeobachtungszeitraum von 25 Monaten nicht aus, um entscheidungsrelevante Aussagen über die seismohydrologische Eignung der Standorte des erweiterten GW-Messnetzes zu treffen. Gerade die Schwarmbeben von April/Mai und Ende August 2013 haben keine hydrologischen Anomalien generiert. Betrachtet man die seismisch aktiven Perioden zurück bis 1997, so fällt auf, dass nur solche Bebenschwärme mit Anomalien korrelierbar waren, innerhalb derer maximale Magnituden von über 2,5 auftraten, was 2013 bis Mitte September nicht der Fall war. Für eine ausreichende Absicherung dieser Aussage ist das Datenmaterial jedoch nicht ausreichend. Immerhin kann aber dieses Beobachtungsergebnis ein Ausgangspunkt für Erklärungen über das Auftreten oder Fehlen seismohydrologischer Anomalien sein. Die Messungen seit den Schwarmbeben 2011 bestätigen erneut, wie wertvoll Phasen relativer seismischer Ruhe sind, um genauere Erkenntnisse über das saisonale Verhalten der Messstellen zu erhalten. Dies ist für eine sichere Anomalie-Identifizierung unabdingbar.

Tabelle 5: Seismohydrologische Charakterisierung und Bewertung der Messstandorte

Standorte (alt)	Bisherige Vorläufereffekte	Reaktion auf die Seismizität vom Aug./Sept. 2011 (östlich Luby, CZ)	Seismohydrologisches Potential des Messstandortes V – Vorläufereffekt K – ko-seismischer Effekt	Bemerkung
Wetinquelle Bad Brambach (WEQ)	Radonanomalien 1994, 1997; Druck-/Gasflussanomalien 2000, 2008; Multiparameteranomalie 2007.	prä-/ko-seismischer Anstieg des Radon-Gehaltes im Wasser	V: ✓ K: ✓	
Pegel VL4T Bad Brambach (VL4T)	GW-Standsanomalien 2000, 2008/2009	prä-seismische GW-Fluktuationen von ±2,5 cm über 7 Stunden	V: ✓ K: (✓)	Anomalieverifizierung mittels des seismisch unbeeinflussten Vergleichspegels GW1
200-m-Bohrung Bad Brambach (B200)	keine	ko-seismische GW-Fluktuationen von insgesamt 6 cm über ca. 40 Stunden	V: ✗ K: ✓	zu V: keine Vorläufereffekte seit Beobachtungsbeginn 1998
Standorte (neu)				
Brunnen Hennbach (HEB)	keine	ko-seismischer abrupter GW-Anstieg von insgesamt 5 cm innerhalb 15 min	V: ? K: ✓	ab 02.10.2012: Datenfunkmodul SEBA SlimCom
Pegel Gürth (GUE)	keine	ko-seismische GW-Standsabsenkung um insgesamt 9 cm über ca. 36 Stunden	V: ? K: ✓	ab 09.11.2012: Datenfunkmodul SEBA SlimCom
Brunnen Rohrbach 1 (RO1)	keine	keine	V: ? K: ?	Fortsetzung der Beobachtungen, da kaum exogene Beeinflussungen
Vorfeldbohrung Bad Elster (BE_VOR)	keine	ko-seismische GW-Standsabsenkung um insgesamt 11 cm über ca. 36 Stunden	V: ? K: ✓	ab 02.10.2012: Datenfunkmodul SEBA SlimCom; Fortsetzung der Beobachtung mglw. am neuen Nachbarpegel
Thermalsolebohrung Bad Elster (BE_TSB)	keine	keine	V: ? K: ?	Installation <i>nach</i> Bebenperiode 2011; Fortsetzung solange technisch möglich, da Anbindung an tiefes Fluidsystem

7 Langzeittrend des Gasflusses an Quellen Bad Brambachs

Langzeitreihen natürlicher Beobachtungsdaten eröffnen die Möglichkeit, Aussagen über grundlegende Trends bestimmter Parameter in einer Region zu treffen. Daher standen bei den Forschungen zu den Zusammenhängen zwischen den lokalen geodynamischen und fluiddynamischen Prozessen im Oberen Vogtland und NW-Böhmen stets auch Messungen der Gasflussraten an Mineralquellen und Mofetten im Mittelpunkt (Koch & Heinicke 2010), da die isotopische Signatur dieser Gase belegt hatte, dass bestimmte Komponenten aus dem Erdmantel stammen, also magmatischen Ursprungs sind. Ausgangspunkt dafür war eine von Kollegen des GFZ Potsdam bzw. dem UFZ Leipzig-Halle zwischen 1992 und 2005 beobachtete Zunahme der $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnisse an CO_2 -Gasen verschiedener Mofetten in NW-Böhmen (Weise et al. 2001, Bräuer et al. 2005a/b, Bräuer et al. 2007, Bräuer et al. 2003, Bräuer et al. 2009). Dies deutete auf eine Zunahme des magmatischen Gasanteils und damit auf eine verstärkte Mantelentgasung im Gebiet des Egerbeckens (NW-Böhmen) hin. An der Mofette Bublák wurde dabei Ätna-Niveau erreicht (Bräuer et al. 2005a).

Insgesamt wurden an folgenden Standorten Messungen mittels Gaszählern bei einer zeitlichen Auflösung von 10 Minuten durchgeführt (Koch & Heinicke 2010):

Wetтинquelle, Bad Brambach (Basisstation)	seit 04/2000
Eisenquelle, Bad Brambach	seit 04/1998
Schillerquelle, Bad Brambach	seit 04/1998
Mofette Naturpark Soos (CZ)	07/2001-11/2010
Mofette Bublák, Hartoušov (CZ)	04/2004-11/2010.

Ohne explizit Projektbestandteil zu sein, wurden diese Messungen im Rahmen des Seismohydrologie-Vorhabens fortgesetzt, wenn auch nicht an den tschechischen Lokationen. Damit konnten den Langzeittrendkurven drei weitere Jahre hinzugefügt werden (Abb. 13).

Gegenüber den bis 2009 gewonnenen Erkenntnissen (Koch & Heinicke 2010) hat sich der Anstieg des Gasflusses an den Bad Brambacher Quellen zwar geringfügig abgeschwächt (von 2,0–4,5 auf 1,8–3,4 %/Jahr), dennoch hält der Trend unvermindert an. An der Wetтинquelle ist er sogar auf dem gleichen Niveau geblieben. Lediglich an der Schillerquelle gibt es 2012 einen Rückgang des Gasflusses. Dafür könnten primär Verockerungen im Leitungssystem verantwortlich sein, die zu einem Anstieg des Wasserspiegels in der Fassung führen. Dieser Effekt reduziert die freie Entgasung des Wassers durch den höheren hydraulischen Gegendruck auf das Fluidsystem.

Die Ergebnisse weisen auf eine anhaltend verstärkte Fluidfreisetzung aus tieferen Reservoirs unter dem Vogtland/NW-Böhmen hin, stimmen aber auch gut mit der Vorstellung einer aufsteigenden Schmelze aus dem oberen Mantel überein, die von Bräuer et al. (2005a) aus der genannten Zunahme der Kruste/Mantel-Signatur der Gase abgeleitet wurde. Der regionale Anstieg des Gasflusses kann aber auch auf eine Veränderung des lokalen Spannungsfeldes hinweisen. Möglicherweise ist nach Jahren seismischer Ruhe die seit August 2011 wieder häufigere Seismizität in der Region darauf zurückzuführen.

Neben dem Langzeittrend treten besonders an der Wetтинquelle deutliche innerjährliche Schwankungen des Gasflusses auf. Die Ursachen dafür sind noch unklar, aber wahrscheinlich in einer unregelmäßigen Entgasungsaktivität des Fluidreservoirs zu suchen. Der Einfluss des Luftdruckes auf die Entgasung ist bei der Betrachtung längerer Zeiträume (Monats-, Jahresmittel) vernachlässigbar. Dagegen spielt die Wirkung des Grundwasserstandes eine bedeutende Rolle, besonders an Entgasungsstellen, die gegenüber dem lokalen Grundwasserniveau permanent abgesenkt sind, also – wie im vorliegenden Fall – an frei auslaufenden oder gepumpten Mineralquellen und Brunnen (Koch & Heinicke 2007, Koch et al. 2008). Als entscheidender Faktor für die insgesamt geringere Zunahme der Entgasung an den Bad Brambacher Quellen gegenüber den tschechischen Mofetten (bis 2009) wird der um 135 m höhere hydrostatische Gegendruck auf das Entgasungssystem betrachtet (Koch & Heinicke 2010).

Diese Ergebnisse sprechen nachdrücklich für eine Fortsetzung der Gasflussmessungen über das Projektende hinaus, zumindest an den Standorten Wetтин- und Eisenquelle, ist doch der beobachtete Langzeittrend ein Mosaikstein für eine wissenschaftlich fundierte Abschätzung des magmatischen Risikos im Egerbecken und damit auch im Oberen Vogtland.

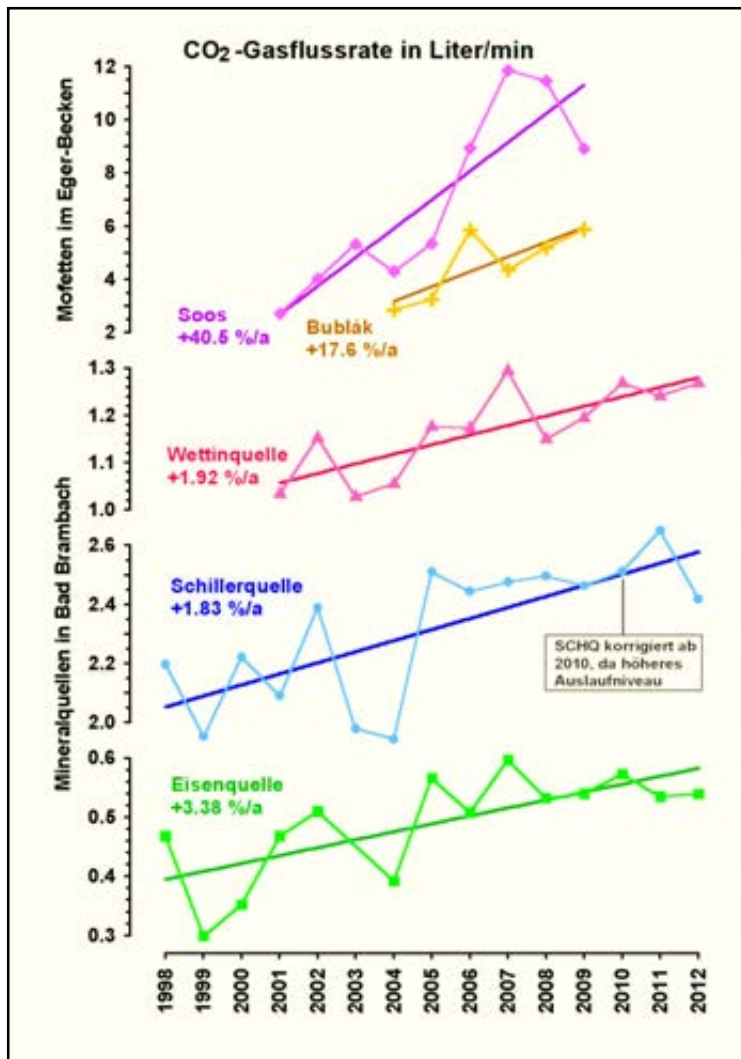


Abbildung 13: Entwicklung der CO₂-Entgasungsrate an Quellen in Bad Brambach und Mofetten im Egerbecken. An den Bad Brambacher Mineralquellen wurde zwischen 1998 und 2012 ein Anstieg des Gasflusses von 1,8 bis 3,4 % pro Jahr registriert. An den Mofetten im Egerbecken waren es zwischen 2000 und 2009 sogar 18 bzw. 41 % pro Jahr.

8 Zusammenfassung und Perspektiven

- Zum Abschluss der Projektteile 1 und 2 kann eingeschätzt werden, dass die Arbeiten stets voll im Zeitplan lagen und die wissenschaftliche Ausbeute als überdurchschnittlich zu bewerten ist. Sie übertraf bereits nach den ersten sechs des auf insgesamt 32 Monate bemessenen Projektes die Erwartungen, besonders dank des Bebenschwarms vom Spätsommer 2011.
- Neben der Registrierung eines Bebenvorläufereffektes in Bad Brambach konnten drei der fünf neu ausgerüsteten Grundwassermessstellen als seismisch sensitiv identifiziert werden.
- Dies ist hauptsächlich dem Umstand zu verdanken, dass Vorarbeiten zügig erledigt, Messgeräte rechtzeitig bestellt und umgehend installiert wurden. Damit konnte ein Datenvorlauf von mehr als zwei Wochen gegenüber dem Beginn des Schwarmbebens von August/September 2011 gewonnen werden.
- Darüber hinaus kam es trotz des um vier Monate verzögerten Projektstarts zwischen Dezember 2010 und Mai 2011 zu keinen nennenswerten Datenausfällen an den Bad Brambacher Messstandorten.
- Diese ermutigenden Ergebnisse rechtfertigten es, den für April 2013 festgelegten Termin für die Ausrüstung geeigneter Messstellen mit Datenfernübertragung auf November 2012 vorzuziehen. Dank vorausschauender Planung und entspre-

chender Gerätebestellung liefen dazu die Tests an den Stationen Bad Elster (Vorfeld) und Hennebach (seit 02.10.2012) sowie Gürth (seit November 2012) erfolgreich.

- Damit wurde die Möglichkeit deutlich verbessert, seismogene Grundwasseranomalien bereits im Vorfeld potenzieller lokaler Beben zu entdecken, da für den Datenzugriff an den drei Messstellen nicht mehr der Befahrungsrhythmus ausschlaggebend ist. Für einen operativen Betrieb sollte mindestens einmal pro Woche ein Datenabruf erfolgen. Dieser kann per Direktanwahl oder via Internetverbindung zum SEBA-Hydrocenter erfolgen, wo die Daten regelmäßig bereitgestellt werden.
- Die im November 2011 zusätzlich in das Programm aufgenommenen kontinuierlichen p/T-Messungen in der 1200-m-Thermalsolebohrung Bad Elster zeigten bis März 2013 einen stetigen Abwärtstrend des artesischen Kopfdruckes, der auf eine Dichteerhöhung in der Wassersäule durch Aufstieg von hochsalinarem Tiefenwasser zurückzuführen ist. Leider werden die Messungen mittelfristig nicht mehr weitergeführt werden können, da mit dem geplanten Hotelneubau vor Ort auch die Errichtung eines Thermalwasserbeckens und damit die Nutzung der Sole einhergehen wird.
- Es liegt in der Natur der Forschungskonzeption, dass aktuelle Vorabinformationen über potenzielle lokale Beben nur dann möglich sind, wenn hydrologische Anomalien oder zumindest deren Beginn **zwischen** dem jeweiligen Auslesen der Daten **und** dem Einsetzen der Seismizität entdeckt und zudem meteorologische Effekte sicher ausgeschlossen bzw. separiert werden können. Fällt der Zeitraum zwischen Vorläufereffekt (Anomalie) und Bebenbeginn **in** einen Messzyklus, der besonders an den Brambacher Offline-Stationen immerhin 2-3 Wochen betragen kann, so ist nur eine rückwirkende Anomaliediskussion möglich.
- Nach gegenwärtigem Kenntnisstand sollten nur eindeutig separierbare Grundwasserstandsdifferenzen von mehr als ± 5 cm als potenzielle seismohydrologische Anomalie betrachtet werden.
- Aus Beobachtungen im neuen GW-Messnetz während der seismischen Perioden 08-09/2011, 04-05/2013 und dem Schwarm Ende 08/2013 ist zu vermuten, dass nur dann mit hydrologischen Reaktionen im zeitlichen Umfeld von Beben im Raum Nový Kostel/Luby gerechnet werden kann, wenn die lokalen Magnituden mindestens 2,5 erreichen.
- Grundsätzlich sind mehrere Bebenperioden erforderlich, um die Reproduzierbarkeit seismohydrologischer Effekte zu testen. Mit dem August/September-Schwarm 2011 und der erhöhten Seismizität von April/Mai und August 2013 hat sich allerdings die Wahrscheinlichkeit verringert, dass in den nächsten zwei Jahren weitere markante und damit seismohydrologisch wirksame Schwarmbeben in der Region auftreten.
- Da im Bearbeitungszeitraum nur eine verwertbare Bebenperiode auftrat, in der überdies die hydrologischen Effekte ko-seismischer Natur waren, reicht für die drei neuen seismisch sensitiven Pegel BE_VOR, GUE und HEB erwartungsgemäß die Datenlage nicht für eine Bebenprognose im Sinne des Projektzieles aus. Dabei haben sich die für den Bad Brambacher GW-Pegel VL4T vor Projektbeginn aufgestellten Prognosekriterien nicht geändert (vergl. 3.2, 9. Punkt).
- Für die Bevölkerung des Vogtlandes sind Bebenprognosen wegen meist ausbleibender Schäden weniger von Interesse als vielmehr Informationen über seismotektonische Zusammenhänge. So könnte z. B. eine Meldung lauten, "*... dass während der letzten seismischen Ereignisse die Grundwasserstände an drei Pegeln um bis zu 11 cm gestiegen/gesunken sind und dies auf den sich ändernden Porendruck in der Tiefe vor und während der Erdbeben zurückzuführen ist ...*".
- Allein diese Aufklärungsmöglichkeit würde den Dauerbetrieb des erweiterten Messnetzes und der Basisstation Bad Brambach rechtfertigen, selbst wenn für die nächste Zukunft die Wahrscheinlichkeit seismohydrologisch verwertbarer Bebenperioden in der Region deutlich abgenommen hat.
- Dies gilt umso mehr, als geodätische GPS-Messungen tschechischer Kollegen zeigen, dass es während der Schwarmbeben 2008 im östlichen Eger-Becken zu horizontalen Verschiebungen, noch stärker aber zu Hebungen und Senkungen des Geländes von bis zu 167 mm gekommen ist. [Schenk et al. \(2012\)](#) führen dies auf Druckerhöhungen im Untergrund durch aufsteigende Fluide magmatischen Ursprunges zurück, wie dies bereits von [Bräuer et al. \(2005a, 2009\)](#) diskutiert wurde. Auch [Weinlich \(2013\)](#) und [Weinlich et al. \(2013\)](#) heben erneut die enge ursächliche Verknüpfung von Fluidtransport und Seismizität in der Region hervor.
- Generell wird der Fortsetzung der über zwanzigjährigen kontinuierlichen seismohydrologischen Messreihen am Standort Bad Brambach und den neu eingerichteten Pegelstationen im Oberen Vogtland nicht nur aus wissenschaftlichen, sondern auch aus naturkundlich-regionahistorischen Gründen eine große Bedeutung beigemessen.
- Außerordentlich wichtig ist auch die weitere Verfolgung des seit 1998 anhaltenden Aufwärtstrends der Gasflussrate an den Quellen Bad Brambachs, der mit einem Anstieg des $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnisses an Entgasungsstellen im Vogtland und im Egerbecken zwischen 1993 und 2005 einher ging. Dies wäre ein Mosaikstein für eine wissenschaftlich begründete Abschätzung des magmatischen Risikos für das Egerbecken und damit auch für das Obere Vogtland.
- Regionale seismohydrologische Projekte erfordern Geduld. Sie sind nur zielführend, wenn sie langfristig angelegt sind, d. h. ihre Laufzeit an die statistisch ermittelten Periodizitäten der vogtländisch-NW-böhmischen Erdbeben (7–10 Jahre) angepasst

wird (Neunhöfer & Meier 2004). Nur so kann eine gewisse personelle Kontinuität bei der qualifizierten Bearbeitung geplant und eine entsprechende wissenschaftliche Ausbeute erwartet werden.

- Die als reines Grundwassermonitoring geplante Fortsetzung des Projektes, bei dem neben der Datenerfassung lediglich einmal jährlich eine Auswertung stattfinden soll, stuft die erfolgreiche seismohydrologische Forschung im Oberen Vogtland zu einem schlichten Datenverwaltungsakt mit nachgelagerter Evaluierung herab, ein Schicksal, von dem mittlerweile nicht nur Zweige der Seismologie, sondern auch andere Bereiche der Naturwissenschaften betroffen sind. Von der Entwicklung einer regionalen Bebenprognose – so kontrovers deren Erfolgsaussicht auch diskutiert werden mag – verabschiedet man sich auf diese Weise endgültig.
- Wie stände es heute um die hochdotierte Klimaforschung, wäre man zu Beginn des 19. Jahrhunderts der Meinung gewesen, systematische meteorologische Langzeitaufzeichnungen seien sinnlos, weil sich das Wetter ohnehin niemals werde vorher-sagen lassen?

9 Methodisch-praktische Konsequenzen für die Fortsetzung

Wichtigster hydrologischer Parameter für die Identifizierung seismisch-tektonisch induzierter Fluidruckänderungen in der Region ist der **Grundwasserstand** in Brunnen und Pegeln. Daher konzentrierten sich die Untersuchungen auf diese Messgröße. Dies wird auch für die Zukunft empfohlen.

(A) Wird eine prognose-orientierte Fortführung der Untersuchungen angestrebt, sind folgende Kriterien maßgebend:

- Mindestens einmal wöchentlich sollte ein Datenabruf von den Stationen BE_VOR, GUE und HEB sowie der Niederschlags- und Luftdruckdaten erfolgen (Funk bzw. Auslesen).
- Die Parameter GW-Stand, Niederschlag und Luftdruck sind laufend als Zeitreihe komplex graphisch auszuwerten, um meteorologisch begründete von potenziellen seismologischen Anomalien zu separieren. Ein Vergleich mit der lokalen Seismizität sollte einbezogen werden (z. B. Website Observatorium Collm).
- Die zusätzliche Auswertung der GW-Temperaturdaten (BE_VOR, GUE, HEB, VL4T) bietet gute Anhaltspunkte für die Zumischung oberflächennaher Grundwässer nach Starkniederschlägen oder in Schneeschmelzperioden;
- Seismogene GW-Anomalien beginnen meist mit einem steilen Anstieg bzw. Abfall und klingen über Stunden/Tage wieder ab. Das derzeitige Messintervall von 15 min ist dafür ausreichend, sollte aber nicht verlängert werden.
- Nach bisherigen Erfahrungen u. a. aus dem lokalen Bebenschwarm vom August 2011, sollten folgende Mindestbeträge abrupter Grundwasserstandsänderungen als seismisch-tektonisch induzierte Anomalie in Betracht gezogen werden:
BE_VOR: ± 8 cm,
GUE: ± 8 cm,
HEB: ± 5 cm,
VL4T: ± 5 cm.
- An den Stationen BE_VOR, GUE und HEB wurden bisher nur ko-seismische Effekte gemessen. Es ist unbekannt, ob es dort Vorläufer geben wird.
- Sollte dies der Fall sein, kann mit ca. 70 % Wahrscheinlichkeit ein Auftreten lokaler Erdbeben in den nächsten Tagen bis 8 Wochen erwartet werden, dabei mit ca. 90 % Wahrscheinlichkeit im Raum Nový Kostel/Luby (CZ).
- Treten Anomalien auf, ist bei den begleitenden/nachfolgenden lokalen Erdbeben mit Magnituden von $>2,5$ zu rechnen.
- Über andere lokale Epizentren (z. B. Bad Brambach, Bad Elster, Klingenthal) sind keine Aussagen möglich, da dortige Beben bisher nicht mit hydrologischen Anomalien korrelierbar waren.

(B) Wird allein eine fortlaufende Verifizierung der seismischen Sensitivität der GW-Messstellen geplant,

- ist 1–2 mal jährlich ein Abruf bzw. Auslesen der unter (A) genannten Parameter und eine nachgelagerte Auswertung nach den vorgestellten Kriterien ausreichend.
- ist damit eine Fortsetzung des Funkbetriebes an den vorhandenen GW-Stationen ebenso zu überdenken wie eine Ausrüstung zusätzlicher Standorte mit Funkmodem (z. B. VL4T Bad Brambach), da die Messpunkte ohnehin zweimal jährlich zu Wartungs- und Kalibrierungszwecken aufgesucht werden müssen.

(C) Ergänzende Hinweise:

- Ohne Kenntnis der meteorologischen und eventueller anthropogener Einflüsse auf das Grundwasserregime ist eine seismohydrologische Anomaliediskussion reine Spekulation.
- Aus der Höhe und Dauer seismogener hydrologischer Anomalien können bis auf weiteres keine Aussagen über Dauer, Höhe der Energiefreisetzung oder maximale Magnitude innerhalb der zugehörigen lokalen Erdbebenperiode getroffen werden.
- Sämtliche bisher gewonnenen Messreihen haben als Zeitbasis MEZ. Die MESZ-Umstellung wurde nicht berücksichtigt.
- Die UTC-Basis (= GMT) der lokalen Erdbebenaten wurde für die graphische Auswertung entsprechend auf MEZ umgerechnet, so dass eine Zeitkoinzidenz aller Daten vorliegt.
- Soll als Zeitbezug künftig UTC verwendet werden, ist zweckmäßigerweise die Uhrzeit an den einzelnen GW-Datenloggern umzustellen.

10 Danksagung

Dem Autor ist es ein Bedürfnis, den Vertretern aller Unternehmen herzlich zu danken, die ihm bei Einrichtung und Betrieb des Bad Brambacher und des erweiterten seismohydrologischen Messnetzes der Sächsischen Akademie auf unkomplizierte Weise eine überaus großzügige Unterstützung gewährten. Besonderer Dank gilt dem Geschäftsführer der Sächsischen Staatsbäder GmbH, Herrn Gernot RESSLER und dem technischen Leiter, Herrn Sven BOHMEIER für die Nutzungsmöglichkeit der zahlreichen Messstellen in Bad Brambach und Bad Elster, dem Geschäftsführer der Bad Brambacher Mineralquellen GmbH, Herrn Andreas HENSCHKE und seinen Mitarbeitern, Herrn Peter HARTMANN und Herrn Uwe WEBER, für den Zugang zu den Brunnen Gürth, Hennebach und Rohrbach 1, für die Lieferung von Material über den Brunnenausbau sowie die technische Hilfe bei den Installationsarbeiten. Dem Geschäftsführer der Umweltbüro GmbH Vogtland in Weischlitz, Herrn Dr. Thomas DAFFNER und seiner Prokuristin, Frau Manuela VOßBERG danke ich für ihr Einverständnis zur gemeinschaftlichen Geräte- und Datennutzung, für technische Unterstützung und die Bereitstellung zusätzlicher Unterlagen zu den Messstellen.

11 Literatur

- Bräuer, K., H. Kämpf, S. Niedermann & G. Strauch, 2005a. Evidence for ascending upper mantle-derived melt beneath the Cheb basin, central Europe. *Geophysical Research Letters*, 32, L08303, doi:10.1029/2004GL022205.
- Bräuer, K., H. Kämpf, E. Faber, U. Koch, H.-M. Nitzsche & G. Strauch, 2005b. Seismically triggered microbial methane production relating to the Vogtland-NW Bohemia earthquake swarm period 2000, Central Europe. *Geochemical Journal*, 39, 5: 441-450.
- Bräuer, K., H. Kämpf, U. Koch, S. Niedermann & G. Strauch, 2007. Seismically induced changes of the fluid signature detected by a multi-isotope approach (He, CO₂, CH₄, N₂) at the Wettingquelle, Bad Brambach (central Europe). *J. Geophys. Res.*, 112, B04307, doi:10.1029/2006JB004404.
- Bräuer, K., H. Kämpf & G. Strauch, 2009. Earthquake swarms in non-volcanic regions: What fluids have to say. *Geophysical Research Letters*, 36, L17309, 1-4, doi:10.1029/2009GL039615.
- Bräuer, K., H. Kämpf, G. Strauch & S. M. Weise, 2003. Isotopic evidence (³He/⁴He; ¹³C_{CO2}) of fluid-triggered intraplate seismicity. *Journal of Geophysical Research*, 108, B2, 2070, doi:10.1029/2002JB002077.
- Koch, U., 2011. Einsatz der Seismohydrologie zur Erdbebenprognose im Vogtland. Zwischenbericht 2011 zum Forschungs- und Entwicklungsvertrag 102-4331.10/16/1, Vergabe-Nr. B 263 zwischen dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (SAW). 28 S. (unveröffentlicht).
- Koch, U., 2012a. Einsatz der Seismohydrologie zur Erdbebenprognose im Vogtland. Abschlussbericht 2012 zum Forschungs- und Entwicklungsvertrag 102-4331.10/16/1, Vergabe-Nr. B 263 zwischen dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (SAW). 34 S. www.saw-leipzig.de/forschung/projekte/einsatz-der-seismohydrologie-zur-erdbebenprognose-im-vogtland.
- Koch, U., 2012b. Einsatz der Seismohydrologie zur Erdbebenprognose im Vogtland. Zwischenbericht 2012 zum Forschungs- und Entwicklungsvertrag 102-4331.10/16/1, Vergabe-Nr. B 636 zwischen dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (SAW). 19 S. (unveröffentlicht).
- Koch, U., Bräuer, K., Heinicke, J. & H. Kämpf, 2008. The gas flow at mineral springs and mofettes in the Vogtland/NW Bohemia: an enduring long-term increase. *Geofluids*, 8, 4: 274-285, doi:10.1111/j.1468-8123.2008.00230.x.
- Koch, U. & J. Heinicke, 2007. Hydrological influences on long-term gas flow trends at locations in the Vogtland/NW Bohemian seismic region (German-Czech border). *Annals of Geophysics*, 50, 4: 557-568.
- Koch, U. & J. Heinicke, 2010. Beiträge zur Umweltforschung mittels radiometrisch-geochemischer Methoden: Forschungsziele, Ergebnisse, Erfahrungen, Empfehlungen. Abschlussbericht. Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. 64 S.

- Koch, U. & J. Heinicke, 2011. Seismohydrological effects related to the NW Bohemia earthquake swarms of 2000 and 2008: Similarities and distinctions. *Journal of Geodynamics* 51: 44-52, doi:10.1016/j.jog.2010.07.002.
- Koch, U., J. Heinicke & M. Voßberg, 2003. Hydrogeological effects of the latest Vogtland-NW Bohemian swarmquake period (August to December 2000). *J. Geodynamics* 35, 1-2: 107-123.
- Neunhöfer, H. & T. Meier, 2004. Seismicity in the Vogtland/Western Bohemia earthquake region between 1962 and 1998. *Studia Geophysica et Geodetica*, 48, 539-562.
- Schenk, V., Z. Schenková, Z. Jechumtálová & R. Pichl, 2012. Crustal deformations in the epicentral area of the West Bohemia 2008 earthquake swarm in central Europe. *Journal of Geophysical Research*, 117, B07408, doi:10.1029/2011JB009053: 1-19.
- SEBA-HYDROMETRIE, 2010. Bedienungsanleitung Messdatensammler MDS Dipper-3, MDS Dipper-T3. Kaufbeuren, 08.02.2010. 19 S.
- SEBA-HYDROMETRIE, 2011. Grundwasserüberwachungssystem – Online Typ SlimCom. Bedienungsanleitung mit SEBAconfig und Messdatensammler MDS Dipper-3, MDS Dipper-T3. Kaufbeuren, 06.12.2011: 11 S.
- SOLINST Canada Ltd., 2011. Levellogger Series Model 3001 Data Sheet. Georgetown (Ontario) Canada, July 7, 2011. 4 S.
- Weinlich, F.H., 2013. Carbon dioxide controlled earthquake distribution pattern in the NW Bohemian swarm earthquake region, western Eger Rift, Czech Republic – gas migration in the crystalline basement. *Geofluids*: 1-17, doi:10.1111/gfl.12058.
- Weinlich, F.H., V. Stejskal, M. Teschner & J. Poggenburg, 2013. Geodynamic processes in the NW Bohemian swarm earthquake region, Czech Republic, identified by continuous gas monitoring. *Geofluids* 13: 305-330, doi:10.1111/gfl.12027.
- Weise, E., 1908. Die vogtländischen Erdbeben im Oktober und November 1908. *Vogtländischer Anzeiger und Tageblatt* Nr. 274, 25. Nov. 1908: S. 10.
- Weise, S.M., K. Bräuer, H. Kämpf, G. Strauch & U. Koch, 2001. Transport of mantle volatiles through the crust traced by seismically released fluids: A natural experiment in the earthquake swarm area Vogtland-NW-Bohemia, Central Europe. *Tectonophysics* 336: 137-150.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autor:

Dr. Ulrich Koch
Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
Arbeitsstelle Seismohydrologie
Ringstraße 23 B
08648 Bad Brambach
Telefon: + 49 (0)341 71153 0
Telefax: + 49 (0)341 71153 44
E-Mail: koch@saw-leipzig.de

Redaktion:

Vorname Nachname
Abteilung/Referat
Adresse der Dienststelle
Telefon: + 49 351 XXXX-X
Telefax: + 49 351 XXXX-X
E-Mail:

Fotos:

Autor

Redaktionsschluss:

TT.MM.JJJJ

ISSN:

XXXXXX (Wird von ÖA LfULG vergeben)

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.