Abbildung: Gartiser, Germann & Piewak GmbH

Abb. 1 – Ausführung der Versuchsbohrung 2, östlich des Einspeisungspunktes

Trinkwassererschließung im Buntsandstein des Main-Spessart-Gebietes

Unterer und Mittlerer Buntsandstein sind aufgrund der großen Mächtigkeiten von mehreren hundert Metern deutschlandweit überregional bedeutende Grundwasserleiter. Die Grundwasserführung erfolgt in diesen vorwiegend klastischen Abfolgen in Klüften und Trennflächen, während die lithologischen Eigenschaften eher geringe Durchlässigkeiten zulassen. Erhöhte Grundwasserergiebigkeiten sind daher bevorzugt in tektonisch zerrütteten Zonen zu erwarten, die mit den modernen Methoden der Geophysik erkundet werden können. In solchen durchlässigeren Zonen sind jedoch wegen der herabgesetzten Filterwirkung unerwünschte Oberflächenbeeinflussungen häufig, sodass für eine quantitativ und qualitativ erfolgreiche Erkundung genaue Vorstellungen zum hydrotektonischen Modell erforderlich sind. Beschrieben werden die Ergebnisse der geophysikalischen Messkampagnen zur Bohrpunktoptimierung, die Ableitung eines hydrogeologischen Modells sowie das darauf aufbauende bohrtechnische und hydrochemische Untersuchungskonzept.

Die Trinkwasserversorgung der Stadt Gemünden am Main wird seit Jahren über einen nördlich des Stadtteils Schaippach gelegenen, gut schüttenden Tiefbrunnen gespeist. Der 100 m tiefe Brunnen erschließt den gespannten Unteren Buntsandstein und besitzt mit einer Momentanentnahme von rd. 28 l/s ein Wasserrecht von 460.000 m³/a. Eine redundante Ersatzversorgung existiert nicht. Umfangreiche Erkundungsmaßnahmen in den letzten 20 Jahren, auch in anderen Gebieten, erbrachten bisher nicht den gewünschten Erfolg. Ein zuletzt aus der Not heraus nördlich des Bestandsbrunnens platzierter Brunnen wurde wegen zu geringer Schüttung (‹ 5 l/s) und wegen festgestellten Beeinflussungen des Bestandsbrunnens nie angeschlossen (Abb.2).

Im Jahr 2010 wurde das Ingenieurbüro Gartiser, Germann & Piewak in Zusammenarbeit mit dem Geophysik-Büro Prof. Dr. K. Ernstson beauftragt, eine Grundwassermenge von rd. 25 bis 30 l/s über eine Bohrung im Erkundungsgebiet nördlich von Schaippach zu erschließen. Für dieses Gebiet lagen bereits geophysikalische Messungen aus früheren Gutachten vor.

Geophysikalische Messungen bei der Grundwassererschließung

Trinkwassererschließungen mit Tiefbrunnen erfolgen heute in aller Regel mit vorangegangenen und zum Teil begleitenden Messungen der modernen Geophysik. Der erfahrene Geowissenschaftler nutzt die eindrucksvollen Möglichkeiten dieser Technik und muss sich dennoch immer wieder mit dem Unwesen des Wünschelrutengehens auseinandersetzen. Aktuelles Beispiel aus einem benachbarten Gebiet (Buntsandstein): Nach Klärung der geologischen, strukturellen Gegebenheiten durch geophysikalische Messungen wurde vom Geophysiker ein optimierter Bohrbereich vorgeschlagen. Der Auftraggeber beauftragte „zur Sicherheit" einen Rutengänger, der einen „genauen" Bohrpunkt außerhalb des zuerst vorgeschlagenen Bereiches festlegte. Der Ansatzpunkt der Versuchsbohrung lag geologisch völlig unsinnig und es wurde bei der Erkundung eine entsprechend geringe Schüttung ermittelt. Eine weitere Bohrung wird notwendig. Der günstige Rutengang hat teure Folgekosten.

Für ein sinnvolleres Vorgehen bietet die Geophysik eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden an, die – auch in einer Kombination – den jeweiligen Problemstellungen bezüglich Lithostratigraphie und Tektonik anzupassen sind. Dazu gehören seismische Messungen, in manchen Fällen sind Schweremessungen der Gravimetrie vorzuziehen und erfolgreich, aber ein Schwerpunkt bei der Grundwassererkundung liegt zweifellos bei den vielfältigen Verfahren der Geoelektrik. Das hat den einfachen Grund, dass die ganz pauschale Einteilung in Grundwasser leitende und Grundwasser gering leitende („stauende") Gesteine sich genauso grob pauschal dem petrophysikalisch entscheidenden Parameter des spezifischen Widerstandes mitteilt: Hydraulisch gut leitende Gesteine sind im Allgemeinen die elektrisch schlecht leitenden Gesteine und umgekehrt. Kein anderes Verfahren der Geophysik ist in der Lage, lithologisch derart gut zu differenzieren, um mit Tiefen- und Horizontalsondierungen dementsprechend auch verlässliche strukturelle (tektonische) Aussagen zu treffen.

Moderne Anwendungen gehen noch einen Schritt weiter und registrieren im Gelände synchron zum scheinbaren spezifischen Widerstand auch den geoelektrischen Parameter der induzierten Polarisation (IP), die zusammen den Begriff der komplexen Widerstandsmessung mit niederfrequentem Wechselstrom begründen. Die induzierte Polarisation ist, wie der spezifische elektrische Widerstand, ein gesteinsphysikalischer elektrischer Parameter, mit dem Gesteine voneinander unterschieden und gegeneinander abgegrenzt werden können. IP beschreibt Verhältnisse und Vorgänge im Kontaktbereich feste Gesteinsmatrix/fluide Phase (Porenwasser). In den Gesteinen spielen vor allem der Tongehalt und damit hydraulische Verhältnisse eine wichtige Rolle.

Untersuchungen der letzten Jahren haben gezeigt, dass IP-Messungen in aller Regel ein wesentlich höheres fazielles Auflösungsvermögen besitzen, verglichen mit den reinen Widerstandsmessungen, und dass die synoptische Auswertung der Parameter Widerstand und IP erheblichen Informationsgewinn bescheren kann (Abb. 3). Allerdings verlangt ein solches Vorgehen auch entsprechend geschulte Anwender mit geologischer Kompetenz und hydrogeologischem Einfühlungsvermögen, insbesondere bei den häufig nicht einfachen Grundwasserverhältnissen im Festgestein.

Da im Erkundungsgebiet nördlich des Bestandsbrunnens Schaippach bereits eine erfolglose Erschließung trotz oberflächengeophysikalischer Messungen vorhanden war, wurden zunächst Neubewertungen der vorliegenden Untersuchungsergebnisse und daran anschließend ergänzende geophysikalische Messungen vorgeschlagen und durchgeführt.

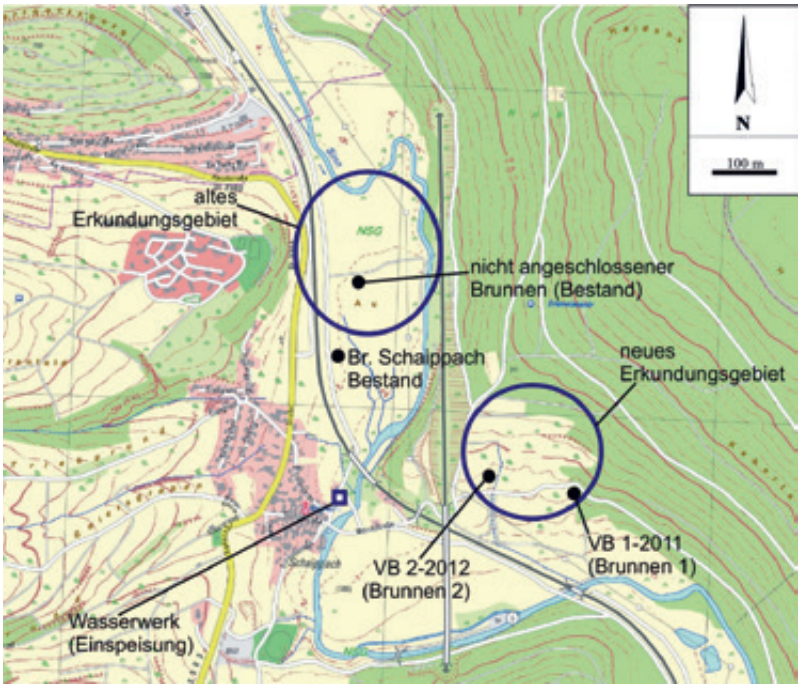


Abbildung: Bayer. Landesamt für Vermessung, TK 10 (2012), verändert, Gartiser, Germann & Piewak

Abb. 2 – Lage der Brunnen und Erschließungsgebiete der Stadt Gemünden nördlich bzw. östlich von Schaippach

Geophysikalische Messungen im alten Erkundungsgebiet

Die Ergebnisse der Neubewertungen und ergänzenden Messungen im alten Erkundungsgebiet können hier nicht mit allen Details vorgestellt werden. Zusammenfas-

Ein Schwerpunkt bei der Grundwassererkundung liegt bei den vielfältigen Verfahren der Geoelektrik. «

send zeigt das Gebiet nördlich des Bestandsbrunnens eine äußerst kleinstückige Bruchtektonik, aus der sich in Ergänzung mit den lithofaziellen Verhältnissen ein inhomogenes, anisotropes und überwiegend schlecht Grundwasser leitendes Schollenmosaik im Unteren Buntsandstein ableiten lässt (Abb. 5).

Zu klären war auch, warum der Bestandsbrunnen eine derart reichhaltige Schüttung von 28 l/s besitzt, der nur 200 m nördlich davon im alten Erkundungsgebiet errichtete Brunnen dagegen mit ‹ 5 l/s deutlich weniger ergiebig ist. Die ergänzende Messkampagne erfolgte mit Messungen der Geoelektrik in Form des Electrical Imaging (Abb. 4). Im Profilschnitt des Electrical Imaging, der entlang einer Strecke eine zweidimensionale Widerstandsverteilung in Form einer sogenannten Pseudosektion aufzeigt, erkennt man deutlich die abrupte Zäsur einer Verwerfung mit angrenzender breiterer Störungszone, der der Brunnen ganz offensichtlich aufsitzt. Mit weiteren Messungen konnte die Streichrichtung der Verwerfung ermittelt werden, die eine Weiterverfolgung für einen möglichen Neuansatz eines weiteren Brunnens ausschloss. Die Ergebnisse waren eindeutig und veranlassten den Auftraggeber, ein alternatives Gebiet zu erkunden.

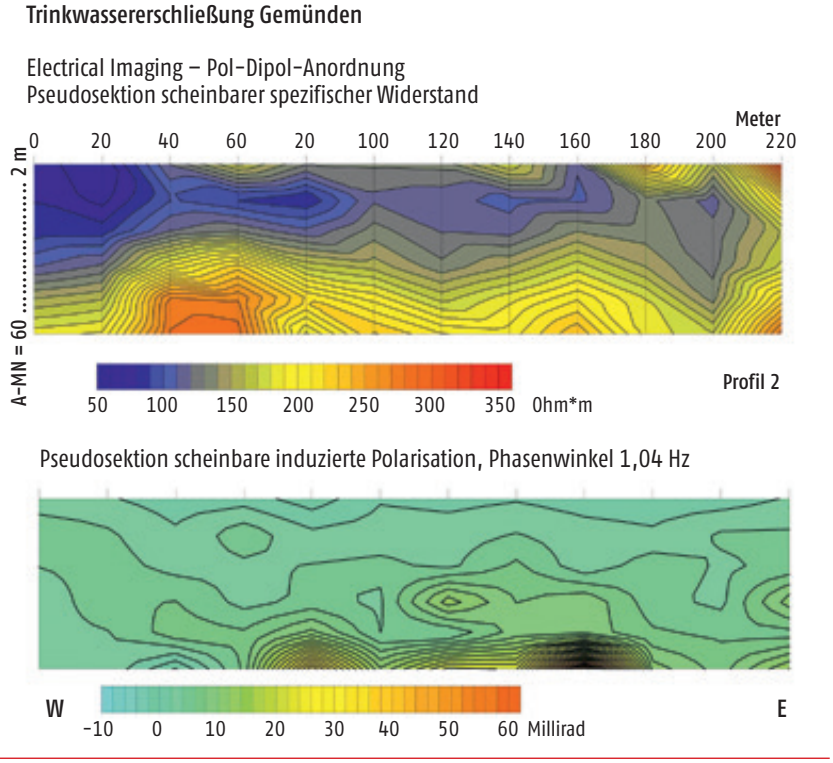


Abbildung: Prof. Dr. K. Ernstson

Abb. 3 – Beispiel der synchronen Messung des scheinbaren spezifischen Widerstandes und der scheinbaren induzierten Polarisation im Buntsandstein

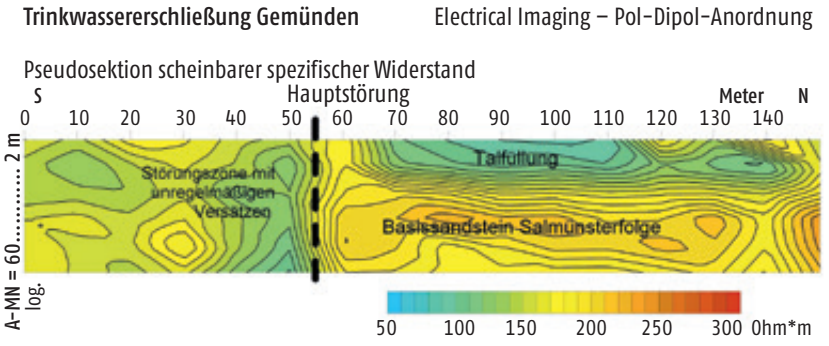


Abbildung: Prof. Dr. K. Ernstson

Abb. 4 – Electrical Imaging-Profil: Auf der Hauptstörung liegt der existierende Brunnen mit der reichhaltigen Schüttung.

Anforderungen an ein alternatives Erkundungsgebiet

Eine grundsätzlich empfehlenswerte hydrogeologische Studie mit Positiv-Negativ-Kartierung lag nicht vor und sollte auch nicht erstellt werden. Das neue Erkundungsgebiet sollte in der Nähe des Einspeisungspunktes liegen und zur Vermeidung von gegenseitigen Beeinflussungen einen ausreichenden Abstand zum Bestandsbrunnen haben.

Die hydrogeologischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Erschließung sind vereinfacht:

- grundwasserführende Schichten unter Vorflutniveau,
- hinreichend schützende Überdeckung,
- kein Vorfluteinfluss, möglichst gespannte Verhältnisse und
- keine erhöhte Mineralisation aus dem liegenden Zechstein.

Ferner sind auch wasserwirtschaftliche Vorgaben wie Ausweisbarkeit eines Wasserschutzgebietes bzw. Einzugsgebiet ohne konkurrierende Nutzungen zu beachten.

Das Zielgebiet östlich von Schaippach entspricht weitgehend diesen Vorgaben (Abb. 7). Nach der geologischen Karte stehen hier unter holozäner Hangschuttüberdeckung Schichten des Unteren Buntsandsteins an. Geophysikalische Messungen sollten diese dürftigen Angaben verifizieren und es ermöglichen, genauere Modellvorstellung der hydrogeologischen Verhältnisse abzuleiten.

Geophysikalische Messungen im neuen Erkundungsgebiet

Die im Zielgebiet angesetzten geophysikalischen Messungen sollten die Lagerungsverhältnisse klären, eine Abschätzung der Deckschichtenmächtigkeiten u. a. zur Festlegung des Absperrungskonzeptes der auszuschreibenden Versuchsbohrung vornehmen und zur Auswahl von besonders höffigen Bohransatzpunkten (sog. Bohrpunktoptimierung) führen.

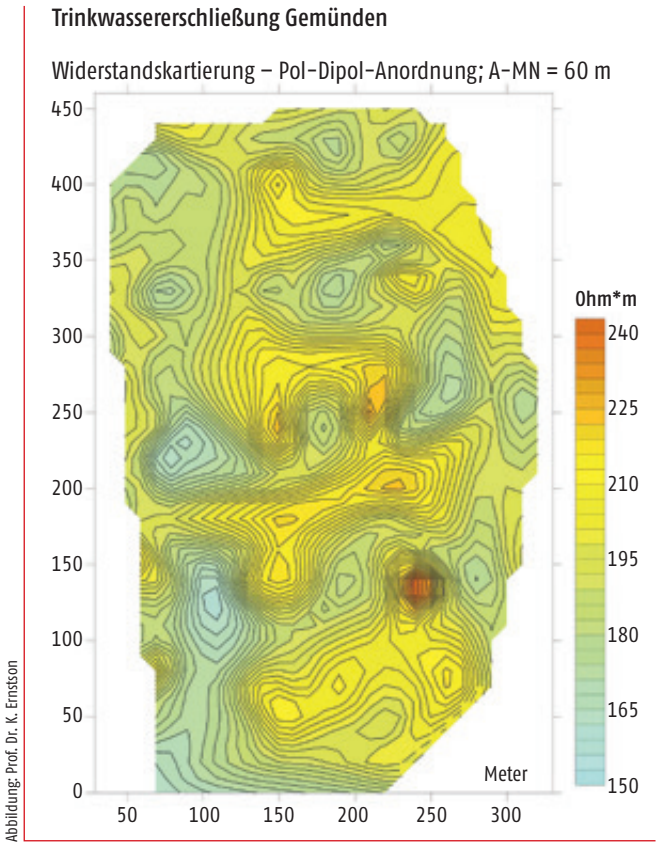


Abb. 5 – Widerstandskartierung mit der Pol-Dipol-Anordnung. Die Schwerpunktstiefe der Information liegt grob im Bereich von 40 m unter Gelände.

Zum Einsatz kamen geoelektrische Messungen. Zunächst Erfolg versprechende Areale wurden in enger Absprache mit dem Projektgeologen für eine Detailvermessung ausgewählt. Teilergebnisse der Widerstandsgeoelektrik zeigten, dass offenbar eine Kiesrinne von der Vorflut Sinn genau in das als geophysikalisch-tektonisch Erfolg versprechende Areal hineinzieht, woraufhin die Gefahr einer Infiltration von Flusswasser diskutiert wurde. Die ergänzend durchgeführten Eigenpotenzial-Messungen bestätigen, dass eine solche Infiltration wahrscheinlich ist.

Deshalb wurde umgeplant und eine weitere Geophysikkampagne hangaufwärts durchgeführt. Zusätzlich wurden Daten eines digitalen Geländemodells ausgewertet und tektonische Strukturen in den angrenzenden großen Waldgebieten in Verbindung mit geophysikalisch gefunden Strukturen festgestellt. Der letztlich daraus resultierende Bohransatzpunkt bringt die erfolgreiche Versuchsbohrung 1, der nach weiteren geophysikalischen Detailmessungen die erfolgreiche Versuchsbohrung 2 folgt.

Diskussion der geophysikalischen Messergebnisse

Abbildung 5 dient unter anderem dazu, klar zu machen, warum das alte Erschließungsgebiet letztlich fallen gelassen wurde. In diesem Gebiet mit einer Größe von etwa 450 m x 300 m wurde ein eng vergittertes Netz von Profilen des Electrical Imaging gemessen. Die Auswertung der Widerstands- und IP-Sektionen zeigte einerseits eine intensive tektonische Beanspruchung – aber erst in flächigen Kartierungen für zunehmende Eindringtiefen, die sich aus den Daten der Einzelprofile zusammensetzten, wurde eine tektonische Konstellation deutlich, die von einer Weiterverfolgung der Erschließungspläne abrücken ließ. Dazu muss vorausgeschickt werden, dass sich tektonisch beanspruchte geologische Störungszonen wegen erhöhter Wasserwegsamkeiten für die Grundwassererschließung zwar als grundsätzlich höffig darstellen, in Einzelfällen aber genau das Gegenteil bereithalten können. Ein typischer Fall gerade im Unteren Buntsandstein ist die Gegebenheit, wenn eine Bohrung vom generellen Grundwasserstrom durch einen Gürtel extrem kleinstückiger, vergitterter Verwerfungstektonik abgeschnitten ist, in dem die Wechselfolge aus Tonsteinen und Sandsteinen/Konglomeraten mit Versätzen, Verzahnungen und Verschmierungen eine hydraulische Plombierung bewirken, was zu sehr geringen Schüttungen bis hin zu trockenen Bohrungen führen kann. Dieser Fall einer eng vergitterten, schachbrettartigen Verwerfungstektonik, die in den Messungen der Geoelektrik sehr deutlich wird (Abb. 5) und von anderen Fällen erfolgloser Trinkwassererschließung im Buntsandstein bekannt ist, war nicht allein der Grund, hier die Erschließung zu stoppen. Verbreitet ungewöhnlich hohe Werte der induzierten Polarisation wurden mit einer verstärkten Kaolinisierung der Feldspäte gedeutet, was eine Reduzierung der hydraulischen Leitfähigkeit selbst in den Sandsteinen nahelegte. In den Widerstandssektionen wurden darüber hinaus ungewöhnliche, aus der Tiefe hochziehende wolkenartige Strukturen erniedrigter Widerstände beobachtet, bei denen aufsteigende Zechsteinwässer erhöhter Salinität die Ursache sein können.

Eine erweiterte Darstellungsmöglichkeit für das geoelektrische Electrical Imaging vermittelt Abbildung 6 mit einer räumlichen Vergitterung von Sektionen im Areal der Detailmessungen für die erfolgreiche Bohrung VB 1. In dieser Darstellung für die induzierte Polarisation wird der auch sonst in der Regel zu

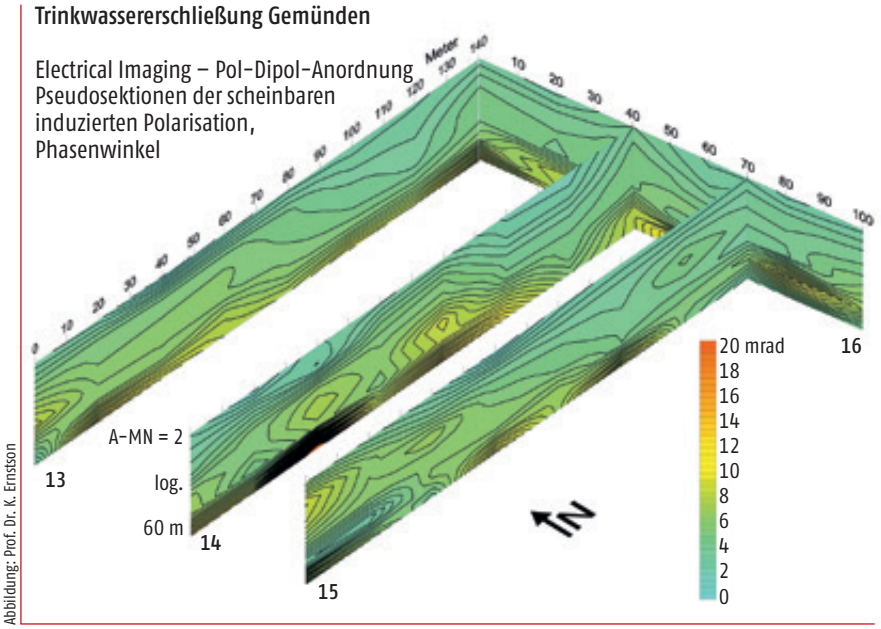


Abb. 6 – Die Vergitterung von Profilen kann einen räumlichen Eindruck der Untergrundstrukturen vermitteln. Die merkliche Zunahme der IP-Werte zur Tiefe hin wird mit dem diskontinuierlich einsetzenden Grundwasser im Gestein gedeutet.

Abbildungen: Gartiser, Germann & Piewak GmbH

Abb. 7 – Das neue Erkundungsgebiet Schaippach Ost: Das mit pleistozänen Sanden und Kiesen aufgefüllte Sinntal ist Überschwemmungsgebiet. Die Hänge sind mit quartärem Hangschutt bedeckt, liegend stehen Schichten des Tonlagensandsteins der Bernburg-Formation im Unteren Buntsandstein an. Im Vordergrund der Ansatzpunkt für Versuchsbohrung 2.

Abb. 8 – Mithilfe der Geophysik festgelegte Bohrpunkte sind nicht immer einfach anfahrbar. Die Fa. Osel (Bamberg) nutzte bei der Baustelleneinrichtung der Versuchsbohrung 1 jeden Zentimeter.

beobachtende, plötzliche Anstieg der IP-Werte zur Tiefe hin deutlich, der im Wesentlichen mit dem hier vermutlich keineswegs kontinuierlich ausgebildeten Grundwasserspiegel zusammenhängt. Dazu wird erläuternd angemerkt, dass überhaupt erst das Wasser im Porenraum den Effekt der IP erzeugt.

Für manche Leser mag die Darstellung der Pseudosektion in seiner Rechteckform (wie auch in Abb. 3) ungewohnt sein; für sie ist eine Trapezform bis hin zur Dreiecksform eher vertraut. Die letztgenannte Darstellungsweise trägt der meist eingesetzten Multi-Elektroden-Messung mit einer Aufreihung einer Vielzahl gleichabständiger metallischer Erder Rechnung, die im Gelände einmalig verkabelt und dann von einem Computer angesteuert werden. Das lässt sich zwar zeitsparend praktizieren; methodisch ist diese Anordnung nach der Dipol-Dipol- oder Wenner-Anordnung eher weniger zu empfehlen. Im vorliegenden Fall wurden die Messungen dagegen mit einer unsymmetrischen Pol-Dipol (Halbschlumberger)-Anordnung mit logarithmischer Elektroden-Konfiguration durchgeführt. Eine solche logarithmische Aufreihung (die man auch mit der symmetrischen Voll-Schlumberger-Anordnung nutzt) trägt den mathematisch-physikalischen Zusammenhängen bei der Ableitung der Widerstandsgesetze optimal Rechnung und macht vor allem in Form der Halbschlumberger-Anordnung die Pseudosektionen geologisch anschaulicher.

Vielfach findet man bei den Messungen des Electrical Imaging auch eine Modellierungs-Inversion der Pseudosektionen in Sektionen echter spezifischer Widerstände. Auch davon wird hier aus verschiedenen Gründen abgesehen. Es wird praktisch nie geprüft, ob tatsächlich zweidimensionale Widerstandsverhältnisse als Vorbedingung für die Anwendung der Programme vorliegen. Stattdessen wird hier vorgezogen, für einzelne gemessene Sondierungskurven eine 1D-Modellierung vorzunehmen, wobei eine bessere Beurteilung von Mehrdeutigkeiten im Rahmen des geoelektrischen Äquivalenzprinzips möglich ist. Überhaupt wird angeraten, bei der Modellierung die geologische Bedeutung der Modelle nicht zugunsten formaler Anpassungen aus den Augen zu verlieren. Die gewöhnlich praktizierte Inversion betrachtet gewöhnlich nie, wieweit die Modellierung auch alternative Lösungen zulässt, und sie ist insbesondere in Form der „smooth inversion technique“ auch völlig Geologie-fremd, wenn z. B. sogar modellierte Hohlräume mit Widerstandsisolinien ausgefüllt sind.

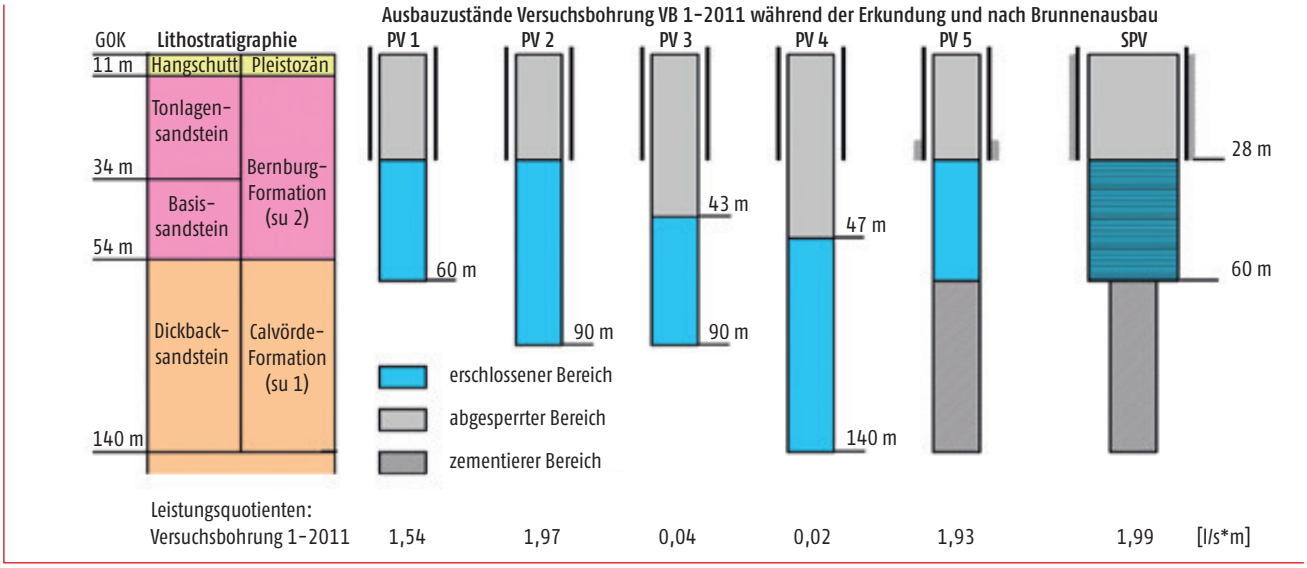


Abbildung: Gartiser, Germann & Piewak GmbH

Abb. 9 – Schematische Darstellung des Erkundungsablaufes VB 1 mit Pumpversuchen 1 bis 5, Schlusspumpversuch und den ermittelten Leistungskoeffizienten

Abbildung: Gartiser, Germann & Piewak GmbH

Abb. 10 – Markierungen der teleskopierten Rohrtouren in der Versuchsbohrung 2 (Fa. Brunnen & bohren, Haßfurt) zeigen die bohrtechnischen Herausforderungen.

Festlegung Bohransatzpunkte

Die vom Geophysiker vorgeschlagenen drei Bohrbereiche innerhalb des neuen Erkundungsgebietes wurden hinsichtlich der Erfolgsaussichten hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich vom Hydrogeologen gewertet. Anschließend wurden zwei Bereiche ausgewählt und innerhalb dieser die Bohransatzpunkte nach den Kriterien Besitzverhältnisse, Flächennutzung und Anfahrbarkeit festgelegt.

Durchführung und Ablauf

Versuchsbohrung 1

Die von der Fa. Osel (Bamberg) durchgeführte Versuchsbohrung 1 (Abb. 8) wurde zunächst bis rd. 12,4 m mittels Schnecke unter Einbau einer Hilfsverrohrung Ø 610 bis in 12,4 m Teufe niedergebracht. Anschließend wurde auf Luftheben umgestellt, allerdings konnte wegen starker Spülverluste kein wesentlicher Bohrfortschritt erzielt werden. Nach verschiedenen Versuchen mit Nachsetzen der Hilfsverrohrung Ø 610 mm und Einbau weiterer Verrohrungen Ø 456 mm und Ø 324 mm wurde bei einer Endteufe von 21,0 m auf eine Imlochhammer-Bohrung DN 311 mm umgerüstet. Ab 28 m wurde Grundwasser angetroffen, welches anschließend auf 22,7 m u. GOK anstieg und damit etwas niedriger als der nach Vorflutlage in 17–18 m u. GOK zu erwartende Grundwasserspiegel lag.

Nach Ausbau der teleskopierten Verrohrungen Ø 456 mm und Ø 324 mm (Abb. 10) wurde das Bohrloch auf DN 375 mm aufgeweitet und eine Hilfsverrohrung Ø 324 mm bis 28 m einschließlich einer Tonsperre im Ringraum eingebaut. Im weiteren Verlauf der Erkundung wurde eine indirekte Lufthebebohrung DN 311 mm bis in 60 m Endteufe durchgeführt. Wegen festgestellter Umläufigkeiten wurde die Hilfsverrohrung Ø 324 mm bis 29,7 m nachgesetzt.

Der anschließend nach dem Klarspülen in der Versuchsbohrung durchgeführte 97 h-Pumpversuch 1 wurde dreistufig mit Entnahmen von bis zu 12 l/s durchgeführt. Der Ruhewasserspiegel lag zu Beginn des Versuchs bei 22,5 m u. GOK. Gegen Ende des Versuchs wurde ein quasistationärer Zustand bei s = 7,8 m unter Ruhewasserspiegel (Betriebswasserspiegel = 30,35 m u. GOK) erreicht. Der Leistungsquotient errechnet sich mit C = 1,54 l/s*m. Pumpversuchsbegleitend wurden Wasserbeprobungen vorgenommen und auf Parameter nach TrinkwV untersucht. Ergänzend wurden Tritium zur Altersbestimmung sowie Arzneimittelstoffe zum indirekten Ausschluss des Einflusses der Vorflut Sinn untersucht, die nachweislich Spuren davon enthält.

Im weiteren Verlauf der Erkundung wurde die Versuchsbohrung 1 im Lufthebeverfahren DN 311 abschnittsweise bis 90 m (Pumpversuch 2 und 3) sowie bis 140 m (Pumpversuch 4) weiter vertieft (Abb. 9).

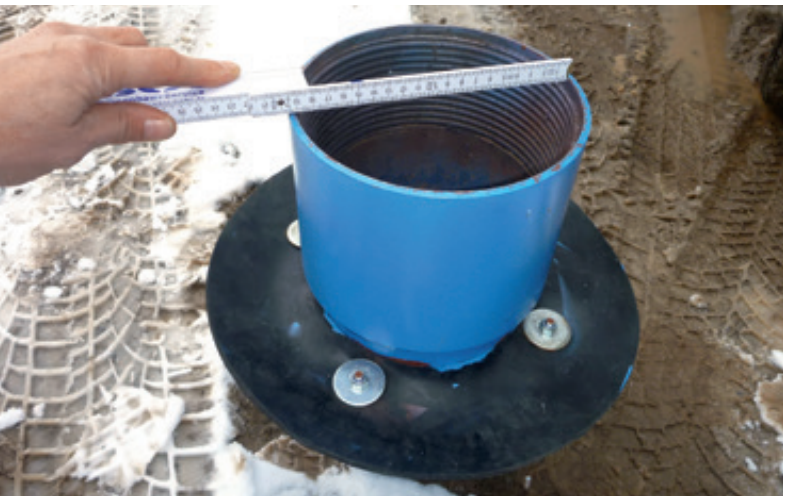
Die geologischen Aufnahmen der Cuttings zeigten, dass die Bohrung unter den rd. 11 m mächtigen Hangschuttmassen den sogenannten Tonlagensandstein der Bernburg-Formation im Unteren Buntsandstein und ab etwa 34 m die Basissandsteine der Bernburg Formation als Hauptgrundwasserleiter erschließt. Liegend folgen ab 54 m bis zur Endteufe eher feinkörnige, z. T. tonige Sandsteine der Calvörde-Formation.

Für die Durchführung der Pumpversuche 3 und 4 wurden nach vorangegangener TV-Befahrung zur Ermittlung der Klüftigkeit der Bohrlochwand besondere Absperrungen eingebaut. Hierbei handelt es sich um am Gestänge hängend montierte, an das Bohrloch angepasste Gummischeiben (Abb. 11), die nach Platzierung im vorgesehenen Bereich mittels rd. 5 m mächtiger Auffüllungen mit Quellton (Teufenbereiche, PV 3: 38,8–43,8 m; PV 4: 42,0–47,0 m) wirksam abgedichtet wurden. Die Unterwassermotorpumpe wurde zur Durchführung der Pumpversuche jeweils in das Gestänge gehängt, sodass nur der Bereich unterhalb der Abdichtungsstrecken quantitativ und qualitativ getestet wurde. Die Wasserspiegelmessungen im Ringraum oberhalb der Abdichtung und im unteren Teil der Bohrung mittels Drucksonde belegen während der Durchführung der Pumpversuche eine wirksame hydraulische Trennung.

Die Ergebnisse der durchgeführten geophysikalischen Messungen in der von 29,7 bis 140 m u. GOK offenen Versuchsbohrung wurden durch die GFL Geophysikalische Fachberatung Dr. Lux (Friedrichroda) durchgeführt und zeigen zusammengefasst:

- eine Hilfsverrohrung Ø 324 mm ist bis 29,7 m eingebaut, dichtet jedoch nicht vollständig ab,
- die Bohrung darunter erreicht bis 140 m einen Bohrenddurchmesser von etwa 311 mm,
- Kalibermessungen zeigen, dass Ausbrüche unterhalb des Rohrschuhs bis 44,4 m deutlich ausgebildet sind und bis 77,3 m geklüftetes Gebirge existiert; darunter bis 140 m Endteufe ist die Bohrung fast nicht geklüftet,
- die größeren Ausbrüche korrelieren in der Bohrung mit den ermittelten hydraulisch aktiven Zonen: Hauptzuflusszone I (70 %) reicht von 29,6 bis 35,2 m und Hauptzuflusszone II (28 %) von 37,9 bis 42,6 m und
- unterhalb 63,6 m existieren keine auflösbaren Einzelzuflüsse, sodass sich eine Erschließung in dem Abschnitt 60 bis 140 m erübrigt.

Wegen der festgestellten geringen Zutritte aus dem Bohrlochabschnitt 60 m bis 140 m erfolgte eine Rückverpressung dieses Abschnitts mit einer Zementation im Kontraktorverfahren. Da die Wirksamkeit der provisorischen Oberflächenabdichtung im Bereich der stauenden Deckschicht bei 24 bis 28 m trotz erneuter Einbringung von Quellton fraglich blieb, wurde ein Umbau der Bohrung sowie der erneute Einbau einer Hilfsverrohrung mit Zementation des Ringraums beschlossen. Hierzu wurde die Hilfsverrohrung Ø 324 mm ausgebaut, das Bohrloch bis 28,5 m auf DN 445 mm aufgeweitet und die Hilfsverrohrung Ø 324 mm unter Verwendung eines Fußflansches wieder eingebaut und mittels Fußzementation und Quelltonschüttung bis 23 m u. GOK abgedichtet.



Abbildungen: Gartiser, Germann & Piewak GmbH

Abb. 11 – Innovative Entwicklung: Mit dem Bohrgestänge wird eine Gummischeibe eingebaut, auf der eine provisorische Ringraumabdichtung mit Quellton möglich ist. Eine im Bohrgestänge eingebaute Pumpe ermöglicht die Durchführung abschnittsweiser Pumpversuche zur Qualitätsbestimmung des Grundwassers.

Abb. 12 – Der fertige Brunnenausbau: V2A-Rohrtour DN 350 mit Wickeldrahtfilter, Spaltweite 3 mm, Filterkies 8 – 16 mm sowie zwei Peilrohre DN 50 (180° versetzt)

Anschließend wurde der Pumpversuch 5 durchgeführt, in dessen Verlauf Grundwasserentnahmen von bis zu 21 l/s getätigt wurden. Die qualitativen Untersuchungsergebnisse waren ebenfalls zufriedenstellend und können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das Grundwasser ist ein sauerstoffarmes, niedrig mineralisiertes (250–350 µS/cm) Ca-Mg-HCO_3-Wasser und entspricht mit Ausnahme von durch die Bohrarbeiten beeinflussten Parametern (z. B. Trübung, Mikrobiologie) den Anforderungen der TrinkwV.
- Anthropogen eingetragene Stoffe sind nicht nachweisbar.
- Das Grundwasser ist nach dem Tritiumgehalt von 3,1 ± 0,61 TU ein Mischsystem aus einer dominanten Altkomponente mit einer mittleren Verweilzeit (MVZ) › 60 Jahren (› 50 %) und einer Jungkomponente mit einer MVZ ‹ 60 Jahren (‹ 50 %).

Einflüsse des Vorfluters Sinn

Seitens der Fachbehörden wurde ein Nachweis gefordert, dass der Vorfluter Sinn keinen direkten Einfluss auf die erschlossenen Grundwasserqualitäten hat. Gemeinsam mit dem Labor Dr. Nuss (Bad Kissingen) und dem WWA Aschaffenburg wurde ein Konzept entwickelt, nach dem in der Sinn sowie in der Versuchsbohrung 1 anthropogene Spurenstoffe wie z. B. Arzneimittelrückstände bestimmt wurden. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass in der Sinn u. a. Diclofenac mehrfach mit rd. 0,016 bis 0,026 µg/l nachgewiesen werden konnte, während im Verlauf der Pumpversuche 4 und 5 in der Versuchsbohrung 1 sämtlichen untersuchten Wirkstoffe unterhalb der Nachweisgrenzen lagen.

Versuchsbohrung 2

Versuchsbohrung 2 (Abb. 1) lief gleichartig ab, mit dem Unterschied, dass von vorneherein auf eine Erkundung tiefer als 80 m verzichtet wurde. Quantität und Qualität des erschlossenen Grundwassers waren weitestgehend identisch. Die gegenseitigen Beeinflussungen der Bohrungen bei Parallelbetrieb liegen bei etwa 10 bis 15 % und damit in einem akzeptablen Rahmen.

Brunnenausbau

Beide Versuchsbohrungen wurden in Abstimmung mit der Fachbehörde WWA Aschaffenburg als ausbauwürdig beurteilt. Exemplarisch wird nachfolgend der Ausbau der Versuchsbohrung 1 zum Brunnen beschrieben.

Zunächst wurde die einzementierte Hilfsverrohrung Ø 324 mm mit einem Bohr-Ø 406 mm mit einem herkömmlichen Bohrgerät überbohrt und ausgebaut (bauinterne Gründe). Dann wurde mittels antransportiertem Pfahlbohrgerät ein 2 m-Standrohr Ø 1.200 mm sowie eine Hilfsverrohrung Ø 1.000 mm bis in 14,0 m gesetzt. In dieser wurde, teleskopiert mit einem Bohrrohr Ø 880 mm, bis in 28,5 m gebohrt. Das gelöste Bohrgut wurde jeweils mit Greifer und Schappe aus den Rohren geholt.

Nach Setzen und Zementation des Sperrrohres Ø 610 mm einschließlich Sandgegenfilter und Fußflansch bis in 28,1 m wurde das Pfahlbohrgerät wieder gegen ein herkömmliches Bohrgerät ausgetauscht. Anschließend wurde die Bohrung mit einem Rollmeißel mit Aufweitungsstufen Ø 590 mm bis in 60,5 m Teufe im indirekten Spülbohrverfahren aufgeweitet. Der Bereich unterhalb 60 m war bereits im Zuge der Versuchsbohrung mit einer Zementation rückverpresst worden.

Nach Durchführung eines 52 h-Zwischenpumpversuchs im offenen Bohrloch und anschließendem Klarspülen und Absaugen der Auflandung wurde die DN 350 mm V2A-Rohrtour unter Verwendung von Zentrierungen gem. Planung eingebaut. Anschließend wurde der Ringraum mit gewaschenem und desinfiziertem Filterkies 8,0–16,0 mm aufgefüllt.

Die Brunnenentwicklung im Brunnen 1 erfolgte mittels Einfach-Kolben und anschließender Intensiventsandung. Zunächst wurden unten beginnend in Drei-Meter-Abschnitten die Filterstrecken abschnittsweise bei gleichzeitigem Abpumpen mittels Luftheben gekolbt. Nach Erreichen des Abbruchkriteriums (Sandgehalt ‹ 0,1 ml/10 l) im abgeleiteten Grundwasser wurde der Abschnitt mit einem Überlappungsbereich von 0,5 m nach oben versetzt. Die insgesamt elf Abschnitte wurden jeweils zwischen 2 und 4 h und in der Summe rd. 30 h gekolbt.

Anschließend erfolgte die Intensiventsandung über eine mit Gummischeiben (Abstand: 2,5 m) abgepackerte UWM-Pumpe mit Entnahmeleistungen von rd. 10 l/s bei gleichzeitiger Auf- und Ab-Bewegung. Mit Erreichen des Abbruchkriteriums (Sandgehalt ‹ 0,1 ml/10 l) im abgeleiteten Grundwasser wurde der Abschnitt mit einem Überlappungsbereich von 0,5 m nach oben versetzt. Die insgesamt 14 Abschnitte wurden jeweils zwischen 1,75 und 4,5 h und in der Summe rd. 34 h gekolbt.

Im Anschluss an die Entwicklungsmaßnahmen wurde in beiden Brunnen die Auflandung abgesaugt und der Ausbau mittels für die Verwendung im Trinkwasserbereich zugelassenem H_2O_2 desinfiziert.

Pumpversuche in den Brunnen

Es wurden je Brunnen ein etwa 52 h dauernder Zwischenpumpversuch im offenen und wirksam abgesperrten Bohrloch sowie ein 144 h dauernder, dreistufiger Schlusspumpversuch durchgeführt. Der Zwischenpumpversuch diente dem Vergleich der Leistungskennlinie vor und nach Brunnenausbau. Die Maßnahmen wurden mit einem 8-tägigen Gruppenpumpversuch abgeschlossen, um die gegenseitigen Beeinflussungen der rd. 250 m auseinanderliegenden Brunnen 1 und 2 zu ermitteln.

Als Ergebnis der Pumpversuche konnten Leistungsquotienten der Brunnen von C = 1,51 l/s*m (Brunnen 2) bis C = 1,96 l/s*m (Brunnen 1) ermittelt werden. Die zulässigen Absenkungen je Brunnen wurden unter Berücksichtigung der Kriterien, keine wasserführenden Horizonte freizulegen, keine wesentlichen Absenkungen unter die stauenden Deckschichten des Tonlagensandsteins sowie keine Freilegung von Filterstrecken, festgelegt. Die daraus ableitbaren, empfohlenen zulässigen Entnahmemengen wurden konservativ für Brunnen 1 mit Q = 14,0 l/s und für Brunnen 2 mit Q = 17 l/s festgelegt.

Damit wurde indirekt die Richtigkeit der Aussagen der Geophysik zur Eignung der Bohransatzbereiche bestätigt. Das Erkundungsziel von 25–30 l/s wurde geringfügig übertroffen, allerdings sind die Entnahmen wegen gegenseitiger Beeinflussungen, die im Bereich von 0,9–1,8 m liegen, bei Parallelbetrieb auf insgesamt 27 l/s zu reduzieren.

Beweissicherungen und Abnahmen

Der Bestandsbrunnen wurde während der gesamten Arbeiten mittels Druckdose und Datenlogger beweisgesichert. Es konnten keinerlei hydraulische Zusammenhänge zwischen dem alten und dem neu erschlossenen Gewinnungsgebiet ermittelt werden.

Die TV-Untersuchungen wurden in beiden Brunnen nach Abschluss der Baumaßnahmen als Grundlage der Abnahme nach VOB durchgeführt. Sie dienen der Kontrolle des Brunnenausbaus und der Ermittlung möglicher Schäden oder Verunreinigungen und werden bei künftigen Befahrungen vergleichend herangezogen. Die nächste Befahrung wird innerhalb der vereinbarten Gewährleistungsfrist von fünf Jahren durchgeführt.

Brunnenanschluss

Die Brunnen sind aktuell mit einem provisorischen Brunnendeckel verschweißt, auf den ein verschließbarer Fünf-Zoll-Zugang aufgesetzt ist, falls weitere Untersuchungen im Brunnen erforderlich werden. Derzeit werden die Anbindung und Aufbereitung vom Ingenieurbüro Jung (Kleinostheim) projektiert, der Anschluss der Brunnen ist für das Jahr 2015 vorgesehen.

Fazit

Nach mehreren Jahrzehnten erfolgloser Erkundungskampagnen konnte innerhalb von knapp drei Jahren mit vergleichsweise geringem Aufwand ein alternatives Grundwassergewinnungsgebiet neu erschlossen werden. Das Ziel, den Bestandsbrunnen redundant zu ersetzen, wurde durch die Errichtung von zwei neuen Brunnen erreicht. Ohne den Einsatz moderner Techniken in der Untersuchungs- und Erkundungsmethodik und ohne das gute Zusammenwirken aller Fachbeteiligten wäre dieser Erfolg nicht möglich gewesen.

Literatur

Freudenberger, W., Geyer, G., Schröder, B. (2013): Der Buntsandstein im nördlichen Bayern (nordwestliches Franken, Bruchschollenland und Randfazies im Untergrund). – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.; Koordination und Redaktion: J. Lepper & H.-G. Röhling für die Subkommission Perm-Trias): Stratigraphie von Deutschland XI. Buntsandstein. – Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 69:547 – 582; Hannover.

Autoren

Andreas Gartiser
Gartiser, Germann & Piewak
Ingenieurbüro für Geotechnik und Umwelt GmbH
Schützenstr. 5
96047 Bamberg
Tel.: 0951 201796
Fax: 0951 201795
www.geologie-franken.de
info@geologie-franken.de

Prof. Dr. Kord Ernstson
Büro für Geophysik
Am Judengarten 23
97204 Höchberg
Tel.: 0931 4070115
kontakt@ernstson.de
www.ernstson.de