



## Trinkwasserversorgung Coburg – Planvolle Brunnensanierung am Beispiel des Tiefbrunnens II

Die SÜC Energie und H<sub>2</sub>O GmbH betreibt in zwei Gewinnungsgebieten insgesamt 14 Tiefbrunnen mit Erschließungsteufen von bis zu 140 m und einer Gesamtförderleistung von 3,1 Mio. m<sup>3</sup> Grundwasser. Die Brunnen wurden im Zeitraum zwischen 1936 und 1981 errichtet und erschließen den ergiebigen Kluftgrundwasserleiter Unterer/Mittlerer Buntsandstein. Seit rund 15 Jahren werden im Zuge von Pumpenwechseln systematisch technische und hydrogeologische Zustandsfeststellungen an den Brunnen durchgeführt. Ergeben sich bei den Auswertungen bauliche Mängel, wird für den betreffenden Brunnen ein Sanierungskonzept erarbeitet. Anschließend werden die Kosten ermittelt und diese in den nächsten Haushalt eingestellt. Die eigentlichen Baumaßnahmen erfolgen nach Freigabe der Haushaltsmittel und konnten bisher geordnet, planvoll und somit kostensparend umgesetzt werden. Die Zusammenarbeit von Wasserversorger, Bohrfirma und hydrogeologisch betreuendem Büro folgt einer fachlichen Routine, die am Praxisbeispiel des Tiefbrunnens II im Gewinnungsgebiet Mönchröden erläutert wird.

Die SÜC Energie und H<sub>2</sub>O GmbH (SÜC) ist ein kommunales Versorgungsunternehmen mit Sitz in Coburg (Bayern); zu seinen Aufgaben zählt die Versorgung der kreisfreien Stadt sowie einiger Landkreisgemeinden mit Strom, Gas, Fernwärme und Trinkwasser. Mit seiner Wassersparte versorgt das Unternehmen ca. 62.000 Menschen mit einem Jahresbedarf von ca. 4,1 Mio. m<sup>3</sup> Trinkwasser. Eine Teilmenge von etwa 1,1 Mio. m<sup>3</sup>/a bezieht die SÜC von der Fernwasserversorgung Oberfranken (FWO), vorwiegend für die Landkreisgemeinden Grub am Forst, Niederfüllbach, Weidhausen und Weitramsdorf.

Das Trinkwasser für die Stadt Coburg und für die Gemeinden Dörfles-Esbach und Lautertal fördert die SÜC aus zwei Grundwassergewinnungsgebieten: Das Gewinnungsgebiet Mittelberg liefert mit sechs Brunnen ca. 2 Mio. m<sup>3</sup>/a, aus dem Gebiet Mönchröden (Abb. 1) werden aus derzeit noch acht Brunnen ca.

Grundwasserentnahmen zur Infiltration abwärtsgerichteter, oberflächennaher und häufig nitrat-belasteter Grundwässer führen. Im Ruhezustand wiederum steigen bereichsweise sulfatdominierte Tiefenwässer aus dem Unteren Buntsandstein auf. Die Auswirkungen der Grundwasserentnahmen können durch gezielte Sanierungsmaßnahmen mit Erschließung nur eines Grundwasserstockwerkes sowie durch eine an die hydrogeologischen Verhältnisse angepasste Betriebsweise minimiert werden.

In den Gewinnungsgebieten Mittelberg und Mönchröden wurden auf diese Weise bisher drei Brunnen erfolgreich saniert. Ein vierter Brunnen soll aufgrund seines eher landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebietes künftig nicht mehr betrieben werden; er wird derzeit teiltrückgefüllt und zu einer Grundwassermessstelle umgebaut.

## » Der zu sanierende Brunnen besitzt ein unbefristetes Altrecht. Die Sanierung sollte deshalb so erfolgen, dass diese Wasserrechte nicht berührt werden. «

1 Mio. m<sup>3</sup>/a abgeleitet. Die Tiefbrunnen haben Ausbauteufen von 80-150 m und erschließen den Kluftgrundwasserleiter des Unteren und Mittleren Buntsandsteins. Das Rohwasser entspricht im Wesentlichen der Trinkwasserverordnung, lediglich überschüssige Kohlensäure muss entfernt bzw. gebunden werden. Hierzu findet im Wasserwerk der SÜC in Cortendorf eine Entsäuerung mit Belüftung statt.

Vorbeugender Grundwasserschutz in der Wassergewinnung ist einer der Aufgabenschwerpunkte bei der SÜC, um den Aufbereitungsaufwand des Rohwassers langfristig gering zu halten. Das gelingt im Gewinnungsgebiet Mittelberg u. a. durch den Erwerb von Grundstücksflächen im Einzugsbereich der Tiefbrunnen: Dem Wasserversorger gehören dort mittlerweile knapp 80 ha Land, die in der Regel nach der Umwandlung in Grünland den Landwirten pachtfrei zur Verfügung gestellt werden, sofern diese bestimmte Auflagen für den Grundwasserschutz einhalten. Im Gewinnungsgebiet Mönchröden haben sich die Landwirte mit der SÜC auf eine freiwillige Kooperation zur grundwasserschonen Landbewirtschaftung verständigt und es werden Prämien ausgezahlt, wenn z. B. der Reststickstoffgehalt im Boden unter bestimmten Grenzwerten bleibt.

Ergänzend zum vorbeugenden Grundwasserschutz werden die Tiefbrunnen seit einigen Jahren sukzessive hydrogeologisch-technisch untersucht, fachlich bewertet und im Bedarfsfall durch Sanierungsmaßnahmen wieder in Stand gesetzt. Die überwiegend grundwasserstockwerksübergreifend ausgebauten älteren Bestandsbrunnen beeinflussen das genutzte, ehemals artesisch gespannte Aquifersystem des Buntsandsteins über im Brunnen stattfindende vertikale Ausgleichsströmungen. Im Gebiet Mönchröden kann dies z. B. bei größeren

### Vorgehensweise und Aufgabenverteilung

Aktuell werden hydrogeologisch-technische Zustandskontrollen an weiteren Brunnen geplant. Ältere Brunnen oder Brunnen mit bereits bekannten technischen bzw. qualitativen und/oder quantitativen Mängeln werden dabei vorgezogen. Die Kontrolle läuft nach folgendem Schema ab: Im Zuge eines routinemäßigen Pumpenwechsels werden zunächst visuelle Kontrollen des

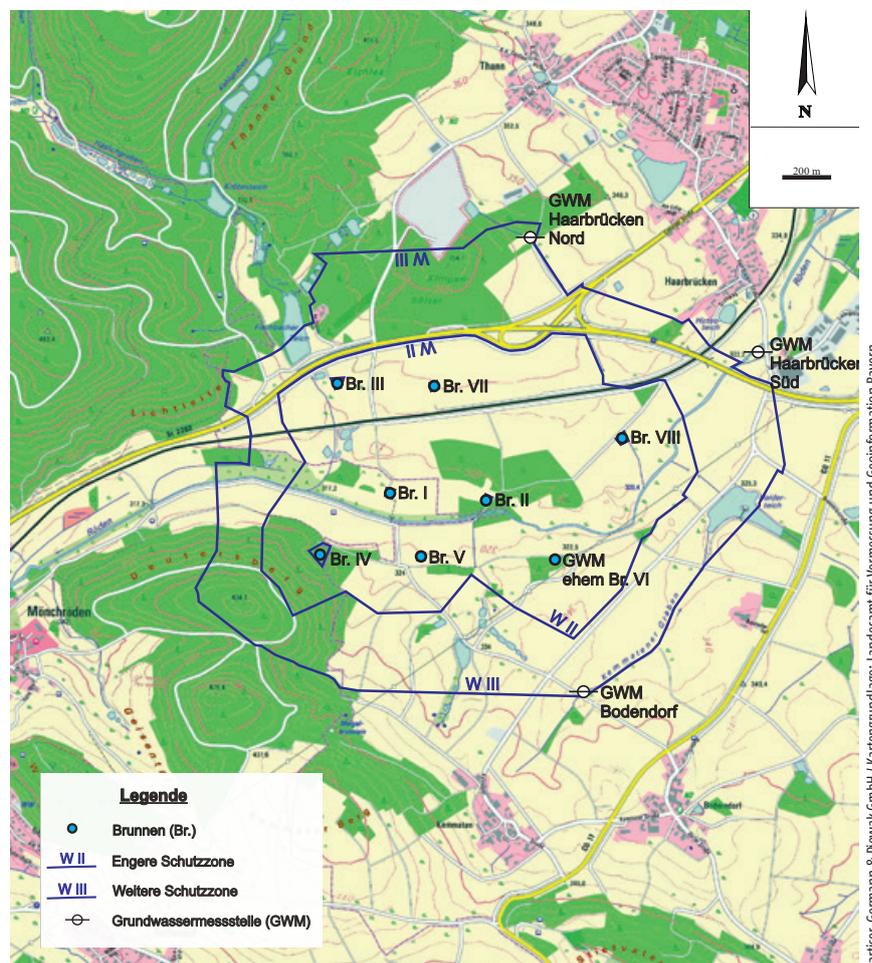


Abb. 1 – Übersichtslageplan des Gewinnungsgebietes Mönchröden der SÜC Energie und H<sub>2</sub>O GmbH

Ochs Bohrgesellschaft mbH



**Abb. 2** - Zustandskontrollen mittels Kamerabefahrung: Korrosion und Ablagerungen an der Rohrtour lassen weitere Maßnahmen notwendig werden.

Gartiser, Germann & Plewak GmbH



**Abb. 3** - Das korrodierte Sperrrohr hatte zusammen mit der ausgespülten „Tonabdichtung“ als Hinterfüllung seit Jahren keine Wirksamkeit mehr.

Ausbau mittels Unterwasserkamera durchgeführt. Da Ablagerungen in den meisten Fällen die Sicht behindern und zudem geophysikalische Messungen in zugesetzten Brunnen nicht repräsentativ sind, erfolgt zunächst eine Reinigung der Brunnen. Bisher wurden ausschließlich Druckwellenimpulsverfahren eingesetzt, da diese auch zur Lockerung des Filterkieses führen, was die späteren Sanierungsmaßnahmen erleichtert.

Im gereinigten Brunnen erfolgen dann geophysikalische Messungen zur Abdichtungskontrolle sowie zur Ermittlung der Zuflussprofile in Ruhe und bei Produktion. Ergänzend werden hydrogeologische Karten, Gutachten sowie vorliegende quantitative und qualitative Betriebsdaten der Brunnen ausgewertet. Im Bedarfsfall kommen zusätzlich Pumpversuche mit begleitender Analytik zum Einsatz. Sämtliche Ergebnisse werden unter Berücksichtigung der Bestandsunterlagen und vorliegender Erkenntnisse vergleichend durch das hydrogeologische Büro der SÜC bewertet. Sofern bauliche Mängel an den Brunnen oder Auffälligkeiten wie z. B. Variabilitäten im Chemismus festgestellt werden, erfolgen weiterführende Untersuchungen sowie darauf aufbauend Entscheidungen zur Planung und Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen. Da die einzelnen Untersuchungsschritte und Auswertungen eng aufeinander abgestimmt sind und ohne Zeitdruck erfolgen, ist eine planvolle und wirtschaftliche Umsetzung der Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen bei voller Kostenkontrolle möglich. Die SÜC besitzt die technischen, personellen und fachlichen Voraussetzungen, um Sanierungs-

maßnahmen an den Brunnen maßgeblich zu steuern, zu überwachen und zum Teil auch selbst durchzuführen: Technische Einrichtungen wie Gebäude und Installationen werden z. B. in Eigenregie geplant und ausgeführt. Brunnenbauleistungen werden ebenso wie hydrogeologische bzw. geophysikalische Leistungen sowie Laboranalytik an entsprechend qualifizierte Unternehmen vergeben.

Zur Durchführung der Sanierungsmaßnahmen entwickelt die mit der Maßnahme beauftragte Bohrfirma das technische Sanierungskonzept auf Basis der vom Auftraggeber vorgegebenen (technischen bzw. wirtschaftlichen) Zielvorgaben und anhand der vom hydrogeologischen Büro festgelegten Untersuchungs- und Sanierungsschritte weitgehend selbst. Die geophysikalischen Messungen und Auswertungen erfolgen getrennt von den Bauleistungen der ausführenden Bohrfirma. Ein wesentlicher Teil der Überwachungs- und Koordinationsleistungen werden durch Mitarbeiter der SÜC wahrgenommen. Die hydrogeologischen Wertungen und Projektsteuerungen erfolgen durch das hydrogeologische Büro. Zwischenschritte und endgültige Lösungen werden zwischen allen Beteiligten regelmäßig und eng abgestimmt. Welche Untersuchungs- und Sanierungsschritte dafür im Einzelnen notwendig sind, wird nachfolgend am Beispiel des Brunnen II aus dem Gewinnungsgebiet Mönchröden beschrieben.

### Zustandsuntersuchungen Brunnen II

Der hier näher betrachtete Brunnen wurde 1951 errichtet, um den in der Nachkriegszeit stark steigenden Wasserbedarf der Stadt Coburg zu decken. Aus dieser Zeit besitzt der Brunnen ein unbefristetes Altrecht – die Sanierungsmaßnahmen sollten daher so erfolgen, dass diese Wasserrechte nicht berührt werden.

Der Brunnen ist den Ausbauunterlagen zufolge 100 m tief und erschließt nach dem Schichtenprofil unter etwa 4,6 m Quartär hellrote fein- bis grobkörnige Sandsteine und tonige Zwischenlagen des Buntsandsteins bis in 80 m Teufe. Für den Abschnitt von 80-100 m Teufe existiert keine Schichtenbeschreibung. Die Absperrung besteht aus einem bis 5,5 m unter Geländeoberkante (GOK) reichenden Sperrrohr DN 800 mit einer Hinterfüllung aus basaler Beton- und einer darauf folgenden, bis zur Unterkante Schacht reichenden Tonabdichtung. Der Ausbau besteht aus einer Rohrtour aus verzinktem Eisen DN 400/350. Ein Pumpversuch aus dem Errichtungsjahr oder später existiert nicht; aus den Betriebsdaten ist jedoch bekannt, dass der Brunnen bei Entnahmen von rund 11,7 l/s regelmäßige Absenkungen bis 30 m unter Brunnenkopf hatte. Der Ruhewasserspiegel stellte sich jeweils bei etwa 9 m ein. Aus der Absenkung resultiert ein Leistungsquotient von annähernd  $E \sim 0,56 \text{ l/s} \cdot \text{m}$ .

Eine im August 2015 durch die SÜC veranlasste TV-Befahrung des Brunnens zeigte, dass die gesamte Rohrtour korrodiert ist und massige rotbraune bis braungraue Beläge aufweist, die möglicherweise stärkere Korrosionsschäden bedecken (Abb. 2). Im Aufsatzrohr wurden undichte Rohrverbindungen festgestellt und die Filterrohre waren überwiegend stark zugesetzt, zudem wurde ein nicht in den Planunterlagen dargestelltes Pumpenschutzrohr ermittelt. Die Auflandung wurde überraschenderweise bereits in rund 88 m unter GOK festgestellt. Im Anschluss an die Voruntersuchungen wurde der Brunnenkopf zur Verhinderung von Einträgen in den Brunnen wieder aufgesetzt.

### Entscheidung zur Sanierung

Die Ergebnisse der Kamerabefahrung wurden zunächst von der SÜC mit dem hydrogeologischen Büro diskutiert. Aufgrund der zu kurzen Absperrung des Brunnens und wegen der vermutlich

starken Korrosionsschäden wurde kurzfristig die Sanierung des Brunnens im Herbst 2015 beschlossen. Diese Entscheidung wurde in einem weiteren Abstimmungsgespräch mit den zuständigen Fachbehörden Landratsamt Coburg und Wasserwirtschaftsamt Kronach kommuniziert: U. a. wurden hierbei auch die wasserrechtliche Behandlung der Sanierungsmaßnahmen und das auf den sanierten Brunnen zu übertragende Altrecht festgelegt. So reichte eine wasserrechtliche Anzeige der Sanierungsmaßnahmen durch die SÜC aus, um die Maßnahmen umzusetzen und das bestehende Wasserrecht zu übertragen.

#### Vorbereitung Bohrplatz und Voruntersuchungen

Seitens der SÜC erfolgt zunächst die Trennung des Brunnens vom Netz. Nach Rückbau der Schachtinstallationen wurde das Baufeld u. a. von Bewuchs und Zaun befreit und der bestehende Brunnenschacht abgebrochen. Der untertägige Brunnenkopf wurde durch Setzen von abgedichteten Betonringen DN 1500 gesichert. Nach Hinterfüllung dieser Betonring-Sicherung und Verdichtung wurde in Abstimmung mit der zwischenzeitlich

Brunnenausbau ohne Bodenstück in 91 m Teufe im Gebirge endete.

Die daran anschließenden geophysikalischen Brunnenvermessungen (die sogenannte Geophysik I, durchgeführt von der GFL - Dr. Lux Geophysikalische Fachberatung (Friedrichroda)) erfolgten für den Fall, dass das spätere Bohrloch nach Ausbau der Rohrtour instabil und damit infolge von notwendigen Hilfsverrohrungen nicht mehr frei zugänglich wäre.

#### Ergebnisse der Geophysik I

Zunächst wurde durch das Gamma-Log erstmals eine eindeutige stratigraphische Zuordnung der im Brunnen erschlossenen Schichten möglich: Der Brunnen erschließt demnach unter dem geringmächtigen Quartär bis 59,5 m unter GOK den Mittleren Buntsandstein sm 1 (Volpriehausen-Folge) und bis Endteufe in 91 m unter GOK den Unteren Buntsandstein su 2 (Bernburg-Wechselfolge, sogenannter Tonlagen-Sandstein). In der ca. 410 m weiter westlich gelegenen Bohrung für Brunnen I wurde im Zuge der Sanierung 2006 der Übergang sm 1/su 2 in 73 m Teufe fest-

## » Obwohl im Rahmen der Sanierung mehrere wasserführende Horizonte abgesperrt wurden, stieg die Leistung des Brunnens nach Abschluss der Maßnahmen um rund 44 Prozent. «

beauftragten Bohrfirma Ochs (Nürnberg) der Bohrplatz durch Einbau von ca. 0,45 m Kalkschotter befestigt. Die Oberkante des Betonrohres endete etwa auf GOK-Niveau, wurde eingemessen und war für die Dauer der Bauzeit das Bezugsniveau für sämtliche Tiefenangaben.

Im weiteren Ablauf wurde der Brunnenkopf wieder abgebaut, anschließend erfolgte eine Reinigung des Brunnens, die Lockerung des Filterkieses mit einem Druckwellenimpulsverfahren und die Absaugung der Auflandungen. Nachdem sich die Trübstoffe abgesetzt hatten, wurde eine weitere Kamerabefahrung des Brunnens veranlasst, die zeigte, dass der Brunnen noch größere Korrosionsschäden (z. B. bereichsweise wegkorrodierte Filterstege) besaß als bislang angenommen. Dieser Sachverhalt war u. a. ausschlaggebend für die Entscheidung zugunsten einer Sanierung. Zudem wurde festgestellt, dass der

gestellte. Die Höhendifferenz von ca. 13,5 m kann durch das Schichteinfallen oder durch zwischen den Bohrungen befindliche Kleinstörungen erklärt werden. Die stratigraphische Zuordnung ist insofern wichtig, als dass im Buntsandstein meist gleiche Horizonte innerhalb des Aquifers wasserführend sind oder hydraulisch trennend wirken und damit eine einheitliche Erschließung im Gewinnungsgebiet möglich wird. Bereits ein stockwerksübergreifend ausgebauter Brunnen kann qualitative Beeinträchtigungen von Nachbarbrunnen verursachen.

Die Unterkante des Sperrohres wurde plankonform in 6,0 m Teufe festgestellt, allerdings reichten die Abdichtungsmaterialien bis etwa 8,6 m. Die Unwirksamkeit der Absperrung konnte aufgrund der Ergebnisse von Temperaturmessungen angenommen werden. Mithilfe dieses sogenannten Temperaturmonitorings können bei Brunnenbetrieb Temperaturveränderungen im Absperrbereich festgestellt werden, aus denen auf hinter den Rohren stattfindende Sickerwässer geschlossen werden kann.

Im Ruhezustand herrscht in der Bohrung eine nach unten gerichtete Vertikalströmung. Im Zusammenhang mit der Erkenntnis der undichten Absperrung bedeutet dies, dass oberflächenbeeinflusste Grundwässer in den tieferen Grundwasserleiter infiltrieren können. Die Druckunterschiede, die zu diesen Ausgleichsströmungen führen, werden dabei durch die Brunnenentnahmen selbst verursacht.

Anhand von Leitfähigkeitssprüngen konnten insgesamt vier Gütegrenzen in 11,5 m, in 24 m, in 46 m und in 51 m ermittelt werden. Bei der untersten Gütegrenze gab es zudem einen deutlichen Temperatursprung von 8,6 auf 9,6 °C.

Bei der Förderung mit ca. 10 l/s konnten ein Hauptzuflussbereich (58 %) von 46,0-52,7 m sowie mittlere Zuflüsse in den Abschnitten 24,2-25,7 m (11 %) und 30,0-34,3 m (12 %) ermittelt werden. Geringe, nicht einzeln quantifizierbare Zuflüsse liegen noch in 36,3-43,3 m Teufe (4 %) sowie unterhalb von 55,0 m (10 %) vor. Der Abschnitt 19,4-20,8 m liefert oberflächenbeeinflusste Zuflüsse, die infolge der unwirksamen Abdichtung zutreten.



Gardiser, Germann & Piewak GmbH

**Abb. 4** – Die ausgebaute Schlitzbrückenfilter haben nach rund 45 Jahren ihren Dienst verdient beendet und werden einer Wiederverwertung zugeführt.



Gardiser, Germann & Piewak GmbH

**Abb. 5** - Erst im Detail ist erkennbar, wie weit die Korrosion der Schlitzbrücken bereits fortgeschritten ist.



Gardiser, Germann & Piewak GmbH

**Abb. 6** - Diese Kiesverbackungen am Filter haben sogar die Hochdruckreinigung und den Ausbau unbeschadet überlebt. Regeneriermaßnahmen hätten hier nicht mehr geholfen.

### Folgerungen für das Sanierungskonzept

Die Hauptwasserführung des Brunnens II erfolgt in Teufen unterhalb 30 m und vor allem in einem eng begrenzten Abschnitt von 46,0-52,7 m. Wegen der Einflüsse oberflächennaher Wässer sollte eine tiefer reichende Abdichtung mit einer Zielteufe von 31,0 m unter GOK unter Inkaufnahme einer etwa 16 % niedrigeren Entnahmemenge vorgesehen werden. Hinsichtlich eines eventuell verkürzten Ausbaus des Brunnens sollte nach Vorliegen der Geophysik II im offenen Bohrloch entschieden werden. Nach damaligen Kenntnissen würden dadurch rund vier bis zehn Prozent der Zuflüsse abgesperrt. Das Pumpenschutzrohr sollte in einem Bereich außerhalb der Hauptzutrittszone in Abhängigkeit der künftigen Absenkung und geplanten Endteufe platziert werden. Als bevorzugter Abschnitt wurde vorläufig der Bereich zwischen etwa 40-43 m unter GOK empfohlen (Abb. 8).

### Überbohren Altausbau

Der Ablauf der bohrtechnischen Maßnahmen zum Rückbau des Altausbaus lässt sich folgendermaßen stichpunktartig zusammenfassen:

- Schlitzten der Rohrtour DN 400/350 in verschiedenen Teufen zwischen etwa 65 m und 20 m,
- Absaugen des Ringraumkieses sowie des über die Schlitzungen in den Ausbau hineinlaufenden Filterkieses (soweit möglich),

- Überbohren Sperrrohr DN 800 mittels 1.000 mm-Standrohr bis 5 m und mittels 900 mm-Überbohrrohr bis 8 m (Abb. 7),
- Ausbau des alten Sperrrohres DN 800,
- Überbohren eines hinter dem Vollrohr stark verbackenen Filterkiesbereiches im Abschnitt 6-15 m mit DN 600,
- nochmaliges Schlitzten der Rohrtour DN 400/350 in ca. 85 m Teufe mit anschließendem Absaugen des Filterkieses,
- Ausbau der Rohrtour DN 400/350; Abriss in 88 m Teufe, 3 m konnten nicht geborgen werden, Absaugen Auflandung bis 91 m und
- Durchführung Geophysik II sowie einer TV-Befahrung im offenen Bohrloch.

Im Zuge der Maßnahmen wurden rund 5,3 m Stahl-Sperrrohr DN 800 ausgebaut (Abb. 3). Das Sperrrohr zeigte flächige Korrosion, partiell Lochfraß und besaß innen harte, zentimeterdicke Filterkies-Inkrustationen. Des Weiteren wurden ca. 86,6 m Rohrtour DN 350 und DN 400 aus verzinktem Eisen ausgebaut, die ebenfalls stark korrodiert war (Abb. 4 & 5). Etwa 3,0 m der Rohrtour ohne Bodenstück verblieben im Bohrloch, da diese nicht oder nur sehr aufwendig ausbaufähig war. Der abgesaugte Filterkies wurde dem Kornspektrum 5,6-8 mm zugeordnet.

### Ergebnisse der Geophysik II

Im offenen Bohrloch wurde eine weitere geophysikalische Vermessung als Grundlage für die Platzierung der Filterstrecken, des Pumpenschutzes und die Festlegung der Endteufe des Brunnens durchgeführt.

Das Kaliber-Log im offenen Bohrloch zeigt ab Rohrschuh in 8 m Teufe bis ca. 25,0 m Teufe einen Abschnitt, der Bohrlochweiten zwischen 725 mm und 825 mm besitzt, während von 15-16 m die Durchmesser bis auf Werte von ca. 580 mm zurückgehen. Das Soll beträgt laut Ausbauplan 800 mm, die Verengungen werden in Kenntnis des Ablaufs der Bohrarbeiten auf starke Verbackungen des Filterkieses zurückgeführt, die von ca. 6 m bis 16 m reichten und mittels Überbohrrohr DN 600 bis 15 m bohrtechnisch bewältigt wurden. Das restliche Bohrloch ist als weitgehend maßhaltig und fest zu werten, einzelne Ausbrüche weisen auf Klüfte (mit Erweiterung in 52,0 m) und teilweise auf entfestigte Bereiche hin, die bevorzugt in den bindigen Abschnitten auftreten.

Das Gamma-Log zeigt in 59,5 m eine Anomalie, die im Abgleich mit Referenz-Logs die stratigrafische Grenze Unterer/Mittlerer Buntsandstein bestätigt. Die Abfolge des Unteren Buntsandsteins ist toniger ausgebildet, insbesondere ab 60 m bis Endteufe bestätigen dies die niedrigen FEL-Werte. Die im Altausbau zwischen 40 m und 54 m Teufe bei der Geophysik I festgestellten erhöhten Gamma-Werte sind nun nicht mehr feststellbar und wurden vermutlich durch Kolmationen des mittlerweile beseitigten Filterkieses verursacht. In diesem Bereich befindet sich auch ein Teil des Hauptzuflusses der Bohrung bei Produktion.

Im Ruhezustand mit einem Ausgleichswasserspiegel in 8,1 m Teufe herrscht in der Bohrung bis 34,4 m eine vertikal nach unten gerichtete Abwärtsströmung mit einem Hauptzutritt im Bereich von 9,2-11,7 m. Ein weiterer Zuflussbereich mit einer aufwärtsgerichteten Vertikalkomponente existiert von 84,4-61,3 m. Die von oben und von unten gegenläufigen Zuflüsse werden durch eine von 39,1-59,2 m reichende Verlustzone aufgenommen, der Hauptverlust findet dabei im Abschnitt 49,5-52,4 m statt. Stockwerkstrennungen können in den Abschnitten 36,3-39,0 m sowie 59,5-60,7 m Teufe festgelegt werden.

Bei Produktion mit  $Q = 10,0$  l/s treten 24 % des abgeführten Wassers im Bereich 15,9-25,4 m zu. Da diese Wässer eine Ober-

flächenbeeinflussung zeigen, sollte dieser Abschnitt abgesperrt werden. Die übrigen Hauptzuflusszonen liegen in den Abschnitten 28,8-34,4 (20 %), 39,1-47,6 m (15 %) und 49,5-59,2 m (30 %). Unterhalb von 61,3 m liegen jeweils nur noch geringe bis sehr geringe Zuflüsse vor, die sich auf einen Anteil von 11 % addieren. Gegenüber den Messungen der Geophysik I ergeben sich geringfügige Änderungen im Zuflussprofil.

### TV-Befahrung im offenen Bohrloch

Die Kamerabefahrung des geräumten Brunnens ergab unmittelbar am Rohrschuh in 8 m Teufe einen markanten Wasserzutritt, der offensichtlich Zusickerungen von weiter oben repräsentiert. Weitere Zuläufe wurden in etwa 51,0 und 51,6 m unter GOK erkannt. Bis in ca. 88 m Tiefe wurde das offene Bohrloch dokumentiert, dort wurden nach der TV-Befahrung immer wieder Trennfugen, Kaliberausbrüche, Klüfte und Kiesanhaftungen festgestellt. Unterhalb von 88,0 m ist die noch im Bohrloch verbliebene, abgerissene Rohrtour DN 350 des Altausbaus erkennbar.

### Ausbauplanung Brunnen II neu

Der untere Teil des Brunnens sollte aufgrund der hier erhöhten Salinitäten, der geringen Zutritte sowie der Schwierigkeiten beim Bergen der letzte drei Meter Rohrtour bis 82 m rückverpresst werden. Die dadurch hervorgerufenen Leistungseinbußen wurden auf etwa 3 % der Gesamtzutritte geschätzt.

Die künftige Oberflächenabspernung sollte aus hydrogeologischen Gründen bis 28,5 m reichen. Aufgrund der Ergebnisse der Geophysik II war zu erwarten, dass durch die vertiefte Abspernung der oberste Zuflussbereich von 15,9-25,4 m und damit etwa 24 % der früheren Zutritte nicht mehr zur Verfügung stehen.



OGHS Bohrgesellschaft mbH

**Abb. 7** - Blick auf den Schneidschuh des Überbohrrohres im Buntsandstein. Die Kamerabefahrung dient während der Baumaßnahmen der Zustandsfeststellung im offenen Bohrloch. Im vorliegenden Fall sollte die Frage nach möglichen Auskolkungen im Bereich der Unterkante der geplanten Abdichtung beantwortet werden.

Die Oberkante des Filters wurde aufgrund der Ergebnisse eines Zwischenpumpversuches im offenen Bohrloch bei 30,5 m vorgeesehen. Das künftige Pumpenschutzrohr wurde im Abschnitt 46,5-49,5 m und damit in einem Bereich platziert, in dem keine Zutritts Horizonte existieren. Auf den Einbau eines Sumpfrohrs wurde verzichtet, da dieses nicht mehr Stand der Technik ist (Abb. 8).



Kompakte Informationen:  
[www.bbr-online.de](http://www.bbr-online.de)





**BRUNNENFILTER  
BOHRBEDARF**

## Gemeinsam für mehr Wasser

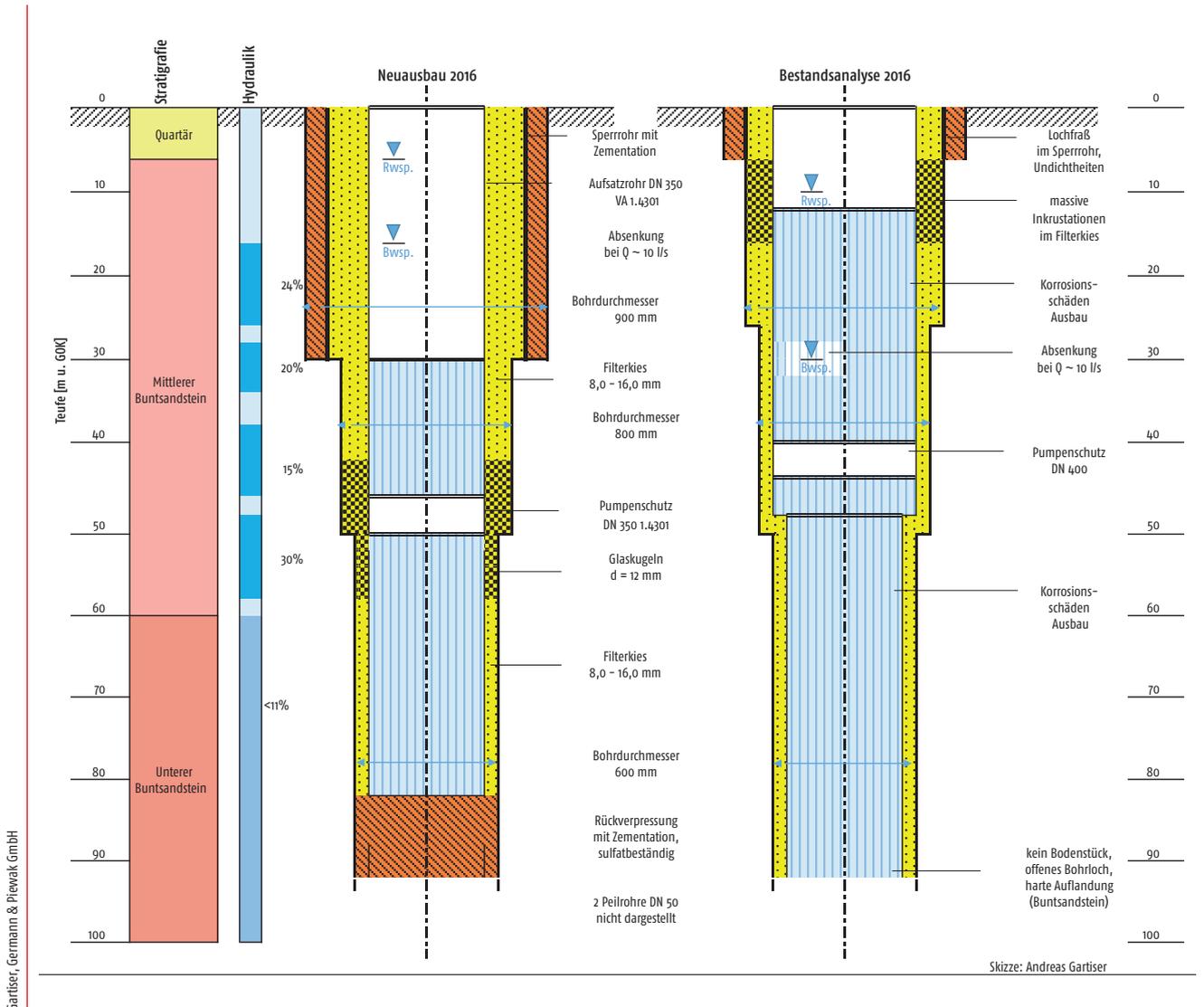





STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH

Tel.: 05244 / 407-0

[www.stuewa.de](http://www.stuewa.de)



**Abb. 8 - Planung des Neuausbaus Brunnen II.** Neben einer Vertiefung der Abspernung wurde verkürzt ausgebaut. Solche letztlich kostensparenden Änderungen lassen sich nur dann risikolos vornehmen, wenn entsprechende Untersuchungsergebnisse vorliegen.

**Rückverpressung und Einbau Sperrrohr**

Anhand der Ergebnisse der Geophysik II und der Kamerabefahrung im offenen Bohrloch wurden die Absperreufe sowie der rückzuverpressende unterste Bohrlochabschnitt festgelegt. Der weitere Ablauf der Baumaßnahmen ist nachfolgend stichpunktartig zusammengefasst:

- Rückverpressung des Bohrloches und der verbliebenen Rohrtour mit sulfatbeständiger Zementation von 91-82 m,
- Einbau von desinfiziertem Splitt zur Stützung des Bohrloches und für die Möglichkeit des Einbaus eines Sandgegenfilters vor der Sperrrohrzementation,
- Aufweiten des Sperrrohrbereichs bis 31,5 m auf 870 mm,
- Einbau eines Sperrrohrs DN 700 mit Fußflansch und Zentrierungen sowie Einbau gestufter Sandgegenfilter in den Ringraum bis 28 m zur Vermeidung von Zementationsmigration in das Bohrloch,
- Durchführung der Fußzementation im Kontraktorverfahren, Abbindevorgang,
- Restzementation des Ringraums unter Ziehen der Überbohrrohre und
- Absaugen der Bohrlochverfüllung mit anschließendem Klarspülen.

Die Leistungseinbußen des Brunnens durch die tiefere Abspernung und die Rückverpressung des untersten Teils wurden auf etwa 27 % geschätzt und zur Verbesserung der Wasserqualitäten in Kauf genommen. Auffallend war der Anstieg des Ruhewasserspiegels nach dem Einbringen der Sperrverrohrung um ca. 2 m (Abb. 8), was die Wirksamkeit der Maßnahme bestätigt.

**Zwischenpumpversuch im offenen Bohrloch**

In der bis 28,5 m abgesperrten und bis etwa 82 m offenen Bohrung wurde ein 74 h-Pumpversuch zur Ermittlung der Ergiebigkeit, der Sandführung und zur Bestimmung der Wasserqualitäten durchgeführt. Die Kontrollmessungen vor Ort erfolgte durch Mitarbeiter der SÜC. Der Pumpversuch wurde zweistufig mit Entnahmel Leistungen zwischen 10,0 l/s und 13,7 l/s durchgeführt. Der Wasserspiegel von 7,05 m unter GOK in Ruhe wurde dabei bis auf maximal 32,63 m bzw. minimal 21,49 m unter GOK abgesenkt, bei den beiden Stufen wurden quasistationäre Verhältnisse erreicht. Der Leistungsquotient ermittelt sich hieraus mit mindestens  $E \sim 0,54 \text{ l/s} \cdot \text{m}$ . Nach Ende des Pumpversuches wurde der Wiederanstieg rund 21 h gemessen, an dessen Ende sich der Ausgangswasserspiegel nicht ganz wieder einstellte (-0,27 m).

Das abgeleitete Grundwasser zeigt Sandführung, jedoch keine Trübung (visuell). Die elektrischen Leitfähigkeiten liegen einheitlich um 580  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , der pH-Wert zwischen 7,02 und 7,12 und die Temperatur zwischen 9,3 und 9,6 °C. Während des Versuches wurden Wasserproben entnommen und im Labor auf Parameter gemäß Eigenüberwachungsverordnung – EÜV (Bayern) und Trinkwasserverordnung (TrinkwV) analysiert.

### **Brunnenausbau und Entwicklung**

Nach dem Absaugen der Auflandung und dem Klarpumpen des offenen Bohrlochs erfolgte unter Verwendung von neun VA-Zentrierungen der Ausbau mit Wickeldraht-Filterrohren DN 400 SW = 3,0 mm von 81,0-29,0 m Tiefe. Im Bereich des Sperrrohres wurden drei Zentrierungen mit Protektoren zur elektrolytischen Trennung verwendet. Das Pumpenschutzrohr wurde innerhalb der Filterstrecke von 49,5-46,5 m platziert; ferner wurden zwei Peilrohre DN 50 bis in Teufen von 60 m eingebaut. Der Ringraum wurde mit Filterkies der Körnung 8-16 mm sowie im Bereich der Hauptzutritte von 58-41,8 m mit Glaskugeln  $\varnothing$  12 mm verfüllt (Abb. 8). Damit wurde erreicht, dass die anfängliche, geogen bedingte Sandführung nicht zur Kolmation an der Filterkiespackung führt, sondern bei der Brunnenentwicklung entfernt wird. Sämtliche Materialien wurden im Vorfeld bautechnisch abgenommen. Der ausgebaute Brunnen wurde mittels Kolben und Bürsten rund elf Stunden lang erstentwickelt, bis keine Filterkiessetzungen mehr stattfanden.

Anschließend wurde der Brunnen mittels abgepackter Pumpe abschnittsweise (3 m) von unten nach oben intensiventsandet. Die einzelnen Abschnitte wurden jeweils dann beendet, wenn das DVGW-Kriterium für mittlere Anforderungen an den Feststoffgehalt bei Entsandungsmaßnahmen von  $< 1 \text{ ml}/\text{m}^3$  eingehalten wurde. Bedarfsweise wurden die Entsandungen mittels Schockzyklen durchgeführt. Dies war in einzelnen Abschnitten zwar nicht ausreichend, jedoch wurden die Maßnahmen auf Wunsch der SÜC beendet, um später in Eigenregie Schock-Entsandungspumpen durchzuführen. Bei den Feststoffen handelt es sich um rotes, aus dem Gebirge stammendes, feinsandiges Material.

### **Schlusspumpversuch**

Im fertig ausgebauten und entwickelten Brunnen erfolgte ein mehrstufiger, rund 168 Stunden andauernder Pumpversuch zur Ermittlung der Ergiebigkeit, der Sandführung sowie zur Bestimmung der Wasserqualitäten. Die Kontrollmessungen vor Ort wurden durch Mitarbeiter der SÜC vorgenommen. Die kontinuierliche Erfassung der Entnahmemengen und Wasserspiegel erfolgte über ein automatisiertes System. Die Sandmessungen geschah nach der 10 l-Eimer-Methode mit Imhoftrichter.

Der Pumpversuch wurde dreistufig mit Entnahmeleistungen zwischen 4,8 l/s und 10,0 l/s durchgeführt. Der Wasserspiegel von 4,14 m unter GOK in Ruhe wurde dabei bis auf maximal 16,92 m bzw. minimal 8,29 m unter GOK abgesenkt. Bei allen drei Stufen wurden quasistationäre Verhältnisse erreicht. Der



Gartiser, Germann & Piewak GmbH

**Abb. 9** – Die Abnahme des Brunnens mittels Kamerabefahrung nach Fertigstellung des Brunnens. Die Filterschüttung wurde mit einer dm-mächtigen Lage aus Glaskugeln überdeckt.



Abb. 10 – Wickeldrahtfilter mit Spaltweiten von 3 mm und Filterkies 8-16 mm sowie in den hochdurchlässigen Bereichen Glaskugeln d = 12 mm



Abb. 11 – Das Fundament des neuen Brunnenhauses wurde auf die einzementierten Betonrohre aufgesetzt, die während der Baumaßnahmen als „Standrohr“ dienen.



Abb. 12 – Das Brunnenhaus in Holzständerbauweise lässt sich mit dem Kran wegheben und hat zusätzlich einen Zugang über das Dach.

Leistungsquotient ermittelt sich hieraus mit mind. 0,78 l/s\*m. Im Vergleich mit dem Pumpversuch im offenen Bohrloch hatten sich die Ergiebigkeiten des Brunnens um rund 44 % verbessert. Dies wird auf die durchgeführten Entsandungs- und Pumpmaßnahmen mit Austrag von Feinstmaterialien aus dem Gebirge zurückgeführt.

Nach dem Ende des Pumpversuches wurde der Wiederanstieg ca. 52 Stunden lang gemessen, an dessen Ende der Ausgangswasserspiegel noch nicht ganz wieder erreicht wurde. Dies ist u. a. auf den Betrieb von Nachbarbrunnen zurückzuführen.

Das aus dem Brunnen abgeleitete Grundwasser zeigt keine Sandführung und auch keine Trübung (visuell) mehr. Die elektrische Leitfähigkeit liegt bei 570 µS/cm. Während des Versuches wurden Wasserproben entnommen und im Labor analysiert.

Die SÜC führte nach dem etwa 52 Stunden dauernden Wiederanstieg einen Versuchsbetrieb des Brunnens mit höheren Entnahmen von ca. 11,3-12,0 l/s durch. Diese Maßnahmen dienten der weiteren Entsandung bei höheren Entnahmen und wurden nach etwa einer Woche mit Vorliegen der Sandfreiheit beendet.

### Brunnenabnahme

Die Abnahmen der im Brunnen verbauten und nicht mehr einsehbaren Ausbaumaterialien erfolgten baubegleitend. Am Ende der Baumaßnahmen wurde eine Kamerabefahrung des Brun-

nens durchgeführt (Abb. 9). Die eingebaute Rohrtour ist plankonform und ohne technische Beanstandungen. In den Filterschlitzten des tieferen Abschnittes sind lockere Ablagerungen erkennbar, die aus Absaigerungen von Feinststoffen im Zuge des Pumpversuches resultieren. Diese Ablagerungen wurden nachführend durch die Fa. Ochs abgesaugt.

### Restarbeiten

Im Anschluss an die Brunnenbauarbeiten wurden durch die SÜC die Fundamente (Abb. 11) und das Brunnenhaus (Abb. 12) gesetzt sowie die Installationen (Abb. 13) montiert. Ebenso wurden die Verbindungsleitungen erneuert und eine neue Zaunanlage für den Fassungsbereich errichtet. Der Brunnen ist mittlerweile wieder angeschlossen und speist seit einigen Wochen in die Versorgung ein.

### Kosten

Die Kosten der Brunnensanierung können mit rund 300.000 Euro einschließlich der Erneuerung von ca. 50 m Brunnenleitung, Entwässerungsleitungen, Abschlussbauwerk und Zaunanlage angegeben werden.

### Zusammenfassung

Die Sanierung des 1951 errichteten Brunnen II im Gewinnungsgebiet Mönchröden wurde im Zeitraum November 2015 bis April



**Abb. 13** - Die Installationen im Brunnenhaus sind sehr gut zugänglich, müssen allerdings im Winter beheizt werden.

2016 durch die Ochs Bohrgesellschaft mbH in enger Zusammenarbeit mit der SÜC Energie und H<sub>2</sub>O GmbH sowie dem hydrogeologischen Büro Gartiser, Germann & Piewak GmbH erfolgreich durchgeführt.

Der Altausbau des Brunnens wich von den vorliegenden Planunterlagen ab. Gegenüber dem Bestand wurde der Brunnen auf Basis durchgeführter Zuflussmessungen rund 23 m tiefer abgesperrt und nur noch bis 81 m anstatt 91 m Tiefe ausgebaut. Der Brunnen liegt im Überschwemmungsbereich des Flusses Röden. Mit dem Hochziehen des Brunnenkopfes um ca. 2 m liegt er nun deutlich oberhalb der HQ100-Linie; damit verbessert sich auch die Versorgungssicherheit im Hochwasserfall.

Durch den Einbau von modernen, gut regenerierbaren VA-Wickeldrahtfiltern in Kombination mit einer groben Filterkieschüttung von 8-16 mm konnten trotz des verkürzten Ausbaus und der nachweislichen Absperrung von wasserführenden Horizonten keine Leistungseinbußen im Vergleich zum früheren Brunnenbetrieb festgestellt werden, vielmehr bewirkte die Sanierungsmaßnahme eine Leistungssteigerung von gut 44 %. Die künftigen Entnahmemengen können damit, orientierend am Bedarf, mit bis zu 16,5 l/s festgelegt werden. Das Wasserrecht von 16,6 l/s muss daher unter Beachtung einer maximalen Absenkungstiefe von 28,5 m nicht angepasst werden.

Die in ihrem Ablauf durch gute Vorplanungen unspektakuläre Sanierung ist trotz einiger nicht vorhersehbarer Überraschungen

ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Zusammenarbeit von Auftraggeber, Bohrfirma, Geophysik und hydrogeologischem Büro.

#### Autoren

Andreas Gartiser  
Gartiser, Germann & Piewak  
Ingenieurbüro für Geotechnik und Umwelt GmbH  
Schützenstr. 5  
96047 Bamberg  
Tel.: 0951 302069-16  
Fax: 0951 302069-20  
andreas.gartiser@geologie-franken.de  
www.geologie-franken.de

Jürgen Zimmerlein  
SÜC Energie und H<sub>2</sub>O GmbH  
Bamberger Str. 2-6  
96450 Coburg  
Tel.: 09561 749-1220  
Fax: 09561 749-1910  
juergen.zimmerlein@suec.de  
www.suec.de