



Berliner Parlamentsbauten – Betrieb, Monitoring und Regenerierungen N₂-beaufschlagter Kältespeicherbrunnen

In diesem Artikel werden die zehnjährigen Erfahrungen im Betrieb der stickstoffbeaufschlagten Kältespeicherbrunnen vorgestellt, die auf einem intensiven Monitoring beruhen. Einen Schwerpunkt bilden die dabei durchgeführten Regenerierarbeiten.

Die Berliner Parlamentsbauten werden mittels eines geothermischen Kältespeichers klimatisiert, wobei insgesamt 0,6 Mio. m³ Grundwasser pro Jahr gefördert und reiniziert werden. Dafür werden 14 Brunnen genutzt, von denen 7 im Südfeld die „kalte“ und 7 im Nordfeld die „warme“ Seite bilden. Im Sommerhalbjahr werden Wasser von der kalten Seite des Kältespeichers gefördert, durch die Gebäudeklimatisierung erwärmt und auf der warmen Seite des Aquifers injiziert. Im Winter erfolgt die Rückkühlung der kalten Seite, indem die Wasser der warmen Seite gefördert, über Dachkühler und Wärmepumpen abgekühlt und auf der kalten Seite des Speichers eingelagert werden.

Geologie und Hydrogeologie

Durch die Kältespeicherbohrungen am Reichstagsgebäude wurde die für Berlin typische geologische Schichtenfolge (Ber-

liner „Sandbüchse“) aufgeschlossen. Im Hangenden des saalezeitlichen Geschiebemergels (Warthe-Stadium) folgen spätsaalezeitliche, glazifluviale Feinsande und weichselzeitliche Talsande. Diese Urstromtalbildungen haben ältere Sedimente und teilweise auch den Warthe-Geschiebemergel erodiert. Oberflächennah sind flächenhaft Torf und/oder aueähnliche Lehme vorhanden, die durch 2 bis 4 Meter mächtige Auffüllungen von Sand, Kies und Bauschutt überlagert werden. Im Liegenden des Geschiebemergels folgen saalezeitliche Kiessande und Sande. Der Geschiebemergel stellt auch einen bedeutsamen Aquitard im Untersuchungsgebiet dar, der den Grundwasserleiter (GWL) 1 vom GWL 2 trennt. Im Südfeld („kalte Seite“) fehlt der Geschiebemergel teilweise. Das ist besonders deshalb von Bedeutung, da somit hier keine durchgängige geologische Abdeckung des genutzten Grundwasserleiters gegeben ist.

Mittels Kornsummenkurven wurden die kf-Werte der verschiedenen Horizonte ermittelt, indem sich zeigte, dass die einzelnen Horizonte selbst innerhalb des jeweiligen Grundwasserleiters lokal sehr stark in Ausbildung und Mächtigkeit variierten. Der Geschiebemergel als Stauer wies Durchlässigkeiten von $9,6 \cdot 10^{-8}$ – $2,0 \cdot 10^{-7}$ m/s und der darunter befindliche Grundwasserleiter kf-Werte von $1,1 \cdot 10^{-4}$ – $2,3 \cdot 10^{-4}$ m/s auf. Im Bereich des Nordfeldes fand sich im Abschnitt von ca. 38 bis 42 Meter eine schluffige Feinsandlage mit geringeren kf-Werten von $5,3 \cdot 10^{-5}$ – $7,8 \cdot 10^{-4}$ m/s. Zum Liegenden der Sandfolge nahm der Schluffanteil wiederum zu, was auch hier zu einer Verringerung der Durchlässigkeiten bis $6,9 \cdot 10^{-5}$ m/s führte.

Über einen 15 Meter langen Edelstahl-Wickeldraht-Filter ist jeweils der hydraulisch beste Bereich des Grundwasserleiters an die Bohrung angeschlossen. Das Grund-

wasser ist gespannt, der Wasserspiegel liegt bei ca. 2 Meter unter der Geländeoberkante. Die Grundwasserfließrichtung ist im Bereich des Kältespeichers nach Norden in Richtung der Spree gerichtet. Das Grundwassergefälle und die Fließgeschwindigkeiten sind aber sehr gering.

Aufbau und Betrieb des Kältespeichers

Da es sich in den letzten Jahren als wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll erwiesen hat, „Kälte“ aus dem Erdreich zu gewinnen und zu nutzen, wurde auch zur Klimatisierung der Berliner Parlamentsgebäude diese Technologie errichtet. Dabei sind Reichstag (RTG), Paul-Löbe-Haus (PLH) und Jakob-Kaiser-Haus (JKH) über Wärmetauscher direkt an den Kältespeicher angeschlossen. Die Klimatisierung des Marie-Elisabeth-Lüders-Haus (MELH) erfolgt über das PLH (Abb. 1).

Zur Errichtung des Kältespeichers wurden von 1996 bis 1998 jeweils 12 ca. 60 Meter tiefe Bohrungen abgeteuft und obertägig mittels Rohrleitungen an die Systeme der verschiedenen Gebäude angeschlossen [1], [2], [3]. Der Kältespeicher ging 1999 mit zehn der Brunnen in Betrieb, zwei weitere (KS-11, KS-13) fungierten als Ersatz. Im Jahr 2009 erfolgte die Erweiterung des Kältespeichers um zwei weitere Bohrungen (KS-15, KS-17) und somit stehen für den Speicherbetrieb je sieben Stück im Nord- bzw. Südfeld zur Verfügung.

Aus dem Südfeld (kalte Seite) wird im Sommer Wasser mit einer Grundwassertemperatur von 6 bis 10 °C entnommen. Obertage wird mit dieser „Kälte“ über Wärmetauscher die Klimaanlage der Parlamentsbauten betrieben. Das aufgeheizte Wasser wird mit ca. 15 bis 30 °C (im Mittel 22 °C) im Nordfeld (warme Seite) injiziert. Bevor das Grundwasser in die Wärmetauscher gelangt, wird es über Filtertöpfe gereinigt, von denen sich jeweils zwei im PLH und im RTG befinden. In diesen Filtertöpfen finden sich 8 bzw. 16 Filterbeutel mit Maschenweiten von 25 bis 40 µm. Im Winter wird die Fahrweise des Kältespeichers umgekehrt. Das „warme“ Wasser aus dem Nordfeld wird über Dachkühler am MELH gekühlt und in die Brunnen des Südfeldes injiziert. Pro Stunde werden insgesamt maximal etwa 300 m³ Wasser umgewälzt [4].

Bis zum Herbst 2002 wurde der Kältespeicher ausschließlich im Kühlbetrieb gefahren und insgesamt fast 2 Mio. m³ Wasser zur Klimatisierung der Parlamentsbauten gefördert. Im Winter 2002/2003 erfolgte

erstmals die Einlagerung von Umgebungskälte und bis heute wechseln sich Einspeicher- und Ausspeicherbetrieb saisonal ab. Jährlich werden ca. 0,6 Mio. m³ Wasser gefördert und dann auch wieder injiziert, wobei die beiden Wassermengen langfristig in etwa im gleichen Verhältnis stehen (Abb. 2).

Die Brunnen sind jeweils mit einer Steigleitung, an der eine Pumpe befestigt ist, und einer Injektionsleitung ausgestattet, die wechselseitig halbjährig genutzt werden. Die Brunnenköpfe sind luftdicht verschlossen. Über eine Leitung wird der Ringraum der Brunnen mit Stickstoff beaufschlagt,

um das Eindringen von atmosphärischem Sauerstoff zu verhindern und die Verockerung der Brunnen zu reduzieren. Die Druckschwankungen des Stickstoffs resultieren vor allem aus den Wasserspiegelschwankungen.

Nicht nur die Brunnen, sondern die gesamte Anlage wird mit einem Druck von 0,4 bis 0,9 bar beaufschlagt. Die Länge der obertägigen Leitungen beträgt mehrere Kilometer, zusätzlich sind verschiedene Anlagenteile, wie Wärmetauscher, Filter usw. vom Grundwasser durchflossen. Die Kunststoffrohre sind dabei nicht 100 Prozent diffusionsdicht gegen Sauerstoff. So

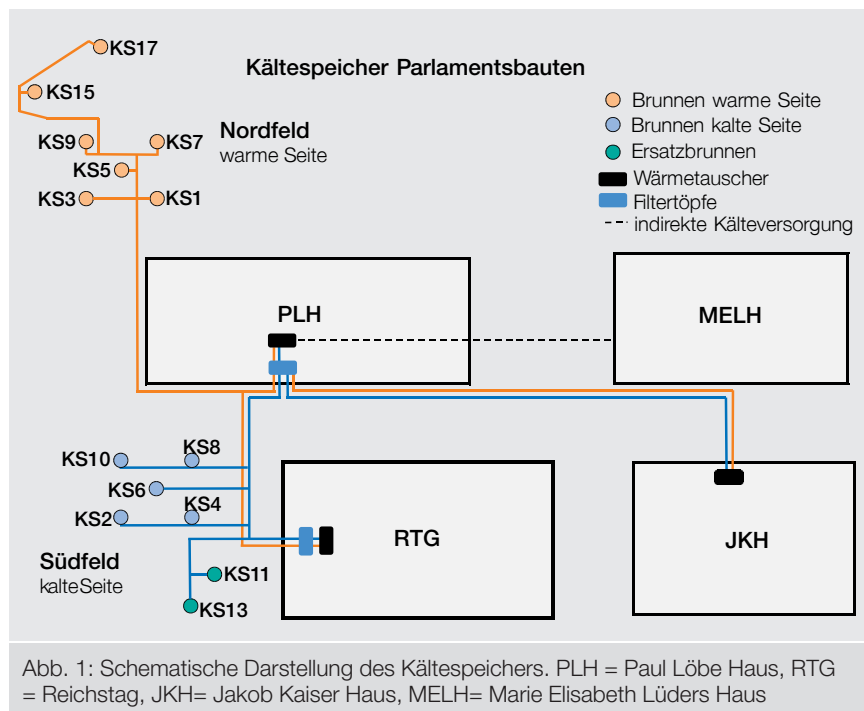


Abb. 1: Schematische Darstellung des Kältespeichers. PLH = Paul Löbe Haus, RTG = Reichstag, JKH= Jakob Kaiser Haus, MELH= Marie Elisabeth Lüders Haus

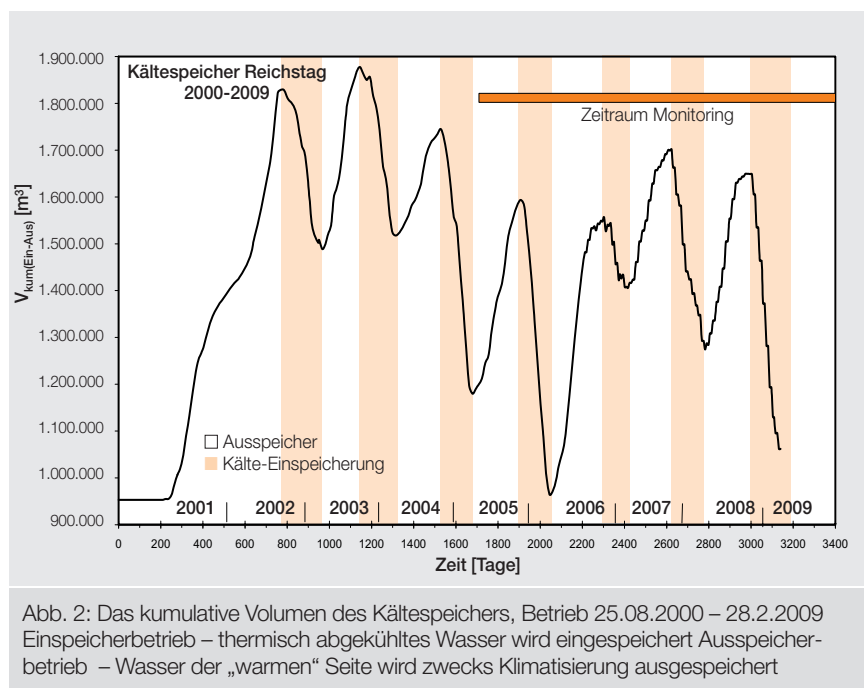


Abb. 2: Das kumulative Volumen des Kältespeichers, Betrieb 25.08.2000 – 28.2.2009
Einspeicherbetrieb – thermisch abgekühltes Wasser wird eingespeichert
Ausspeicherbetrieb – Wasser der „warmen“ Seite wird zwecks Klimatisierung ausgespeichert

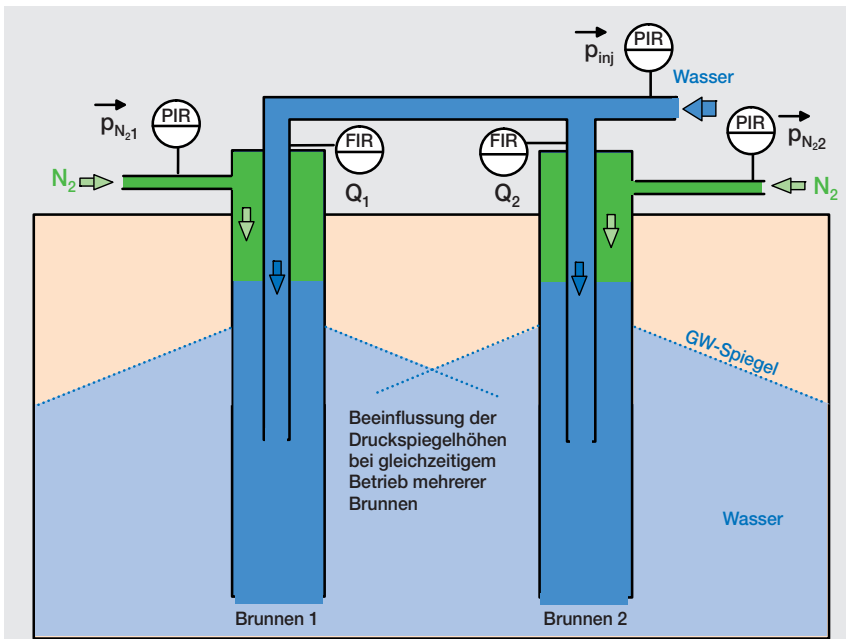


Abb. 3: Schematische (stark vereinfachte) Anordnung zur Bestimmung der Ergiebigkeit eines Kältespeicherbrunnens für das System entsprechend des Stickstoffdruckes

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH

mit kann theoretisch Sauerstoff eindringen. Es handelt sich dabei aber um vernachlässigbar kleine Mengen.

Eisenhydroxidbildung durch eindringenden Sauerstoff ist somit nur untergeordnet möglich, aber nicht auszuschließen.

Mehrfach wurden bereits Sauerstoffmessungen an verschiedenen Punkten und technischen Anlagenteilen des Kältespeichers durchgeführt und sichergestellt, dass keine lokale Leckagestelle für einen Sauerstoffzutritt verantwortlich ist. Die

Monitoring von Betriebsdaten

Die Überwachung der Kältespeicherbrunnen des Reichstags erfolgt über die kontinuierliche Bestimmung des Gesamtsystemdrucks sowie die Erfassung des Stickstoffdrucks, der Förder- bzw. Injektionsra-

ten und Temperaturen (Minutenwerte) der einzelnen Brunnen. Diese Werte geben Auskunft über die Brunnenproduktivitäten bzw. -injektivitäten, die im Laufe des Betriebes abnehmen und entscheidend für die Planung von Maßnahmen zur Instandhaltung sind.

Im Kältespeicher sind besonders die jeweiligen saisonal wechselnden Injektionsbrunnen für den Ist- und Soll-Vergleich geeignet, da auf sie alle der gleiche Injektionsdruck wirkt. Über Schieber an den einzelnen Bohrungen lassen sie sich zu- und abschalten. Die injizierten Wassermengen gestatten dann eine Abschätzung der Brunneninjektivitäten. Noch genauer lässt sich die Brunnenleistung über den Stickstoffdruck ermitteln, der für die einzelnen Brunnen kontinuierlich gemessen wird. Solange kein Stickstoff nachgespeist wird, kann man sehr genau die Entwicklung der Produktivität verfolgen.

Die Produktivität/Injektivität ergibt sich aus dem Quotienten der jeweiligen Förder-/Injektionsrate, der Druckdifferenz des Stickstoffdruckes p_0 (alle Brunnen außer Betrieb) und dem Druck bei der jeweiligen Betriebsphase. Die Druckdifferenz kann dabei auch in der Höhe der Absenkung des Grundwasserspiegels angegeben werden (Abb. 3).

Neben diesen kontinuierlich erfassten hydraulischen Daten werden auch die Standzeiten der Filter dokumentiert. Verringerungen in den Filterstandzeiten unter Berücksichtigung der kumulativ durch den Filter bewegten Wasservolumina zeigen mögliche Probleme im Betrieb der Anlage an. Makroskopische und mikroskopische Untersuchungen der Filter, die ordnungsgemäß entnommen und präpariert werden, geben Hinweise auf die Ursachen. Auch durch eine Erhöhung der Leistungsaufnahme der Pumpen, die für die Förderung des Grundwassers verantwortlich sind, kann eine Verschlechterung der Produktivität abgeleitet werden. Darüber hinaus ermöglichen die ebenfalls kontinuierlich gemessenen Redoxpotenziale, plötzliche Leckagen nachzuweisen.

Geochemisches Monitoring

Seit Inbetriebnahme des Kältespeichers wurden zunächst regelmäßig wasserchemische Analysen durchgeführt, bis 2005 das Monitoring auch um die mikrobiologische Aktivität und Partikelumlagerung im Rahmen von Aquiscreen erweitert wurde. Dieses vom BMU (Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicher-

Tabelle 1: Wasserzusammensetzung der Grundwässer vom Kältespeicher (verschiedene Analysen von 2007, relevante Proben entnommen bei der Regenerierung von Kältespeicherbrunnen)

Datum	05.03.	04.04.	03.06	10.07
Ionen	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
K ⁺	11,4	10,9	8,9	11,7
Na ⁺	61,9	42,1	34,6	48,6
Ca ²⁺	121,0	133,0	93,9	140,0
Mg ²⁺	12,6	12,4	9,0	13,3
Fe ²⁺	1,83	2,0	1,82	0,7
Mn ²⁺	0,4	n.b.	0,3	0,4
Cl ⁻	68,5	57,0	59,0	59,0
SO ₄ ²⁻	198,8	192,0	65,2	170,0
NO ₃ ⁻	n.n.	n.n.	n.n.	0,1
PO ₄ ³⁻	n.n.	n.b.	< 0,2	1,3
SiO ₂ (*SiO ₃ ²⁻)	17,8	n.b.	15,9*	15,9
HCO ₃ ⁻	242,0	n.b.	218,0	234,0
Gesamtmin. (g/l)	0,765	n.b.	0,51	
pH	7,23	7,4	7,38	7,24
Leitfähigkeit (µS/cm)	920	930	820	879
Redoxpotential (mV)	134	110	131	340

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH

heit) geförderte Forschungsprogramm hat das Ziel, ein preisgünstiges und schnelles Prozessmonitoring zur Bewertung des mikrobiellen Einflusses auf die Betriebssicherheit geothermischer Anlagen zu entwickeln, indem an acht verschiedenen Standorten dafür relevante Parameter identifiziert werden.

Regelmäßige Beprobungen werden vor und nach dem Filtertopf 1 im PLH vorgenommen, weil der Ausspeicherbetrieb über das PLH läuft und diese Filtertöpfe daher ganzjährig in Betrieb sind. Beim Ausspeichern im Sommer werden zusätzlich Proben an den Filtertöpfen im RTG genommen. In regelmäßigen Abständen (ca. alle 5 Monate) werden die Filterbeutel des RTG und PLH ausgewechselt und ebenfalls untersucht.

Da an den Filtertöpfen zumeist ein Mischwasser von den jeweils fünf Bohrungen einer Seite beprobt wird, werden zusätzlich auch Proben an den einzelnen Brunnen gewonnen. Diese ergeben nicht nur bei den Feststofffrachten, sondern auch in ihren Zusammensetzungen Unterschiede. Weitere Proben werden während der Regenerierungen aus den jeweiligen Brunnenstümpfen und von den Belägen auf Pumpen und Leitungen (Injektions- und Förderstrang) entnommen. An den Steigleitungen kann beobachtet werden, dass stets die Innenseiten der Injektionsrohre mit Eisenhydroxiden belegt sind, während die Innenseiten der Förderstränge frei von Belägen sind.

Die Feststoffproben werden mittels Auflichtmikroskop und Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Bei Letzterem wird anhand der energiedispersiven Röntgenanalyse (EDX) auch die prozentuale Elementzusammensetzung erfasst. Somit lassen sich Aussagen zu den enthaltenen Mineralphasen ableiten.

In den Kältespeicherbrunnen kann grundsätzlich zwischen Mineralneubildungen (Eisenhydroxide, Eisen- und Buntmetallsulfide, Karbonate, Schwefel), Partikeln aus dem Grundwasserleiter (detritischer Quarz, Tonminerale) sowie in geringem Umfang technische Partikel (z. B. „Filterkies“) unterschieden werden.

Die Mineralneubildungen setzen sich seit Inbetriebnahme des Kältespeichers überwiegend aus Eisenhydroxiden zusammen, die meist dicke Krusten bilden. Etwa 10 Prozent aller Ausfällungen sind Calciumkarbonate, die zusammen mit den Eisen-

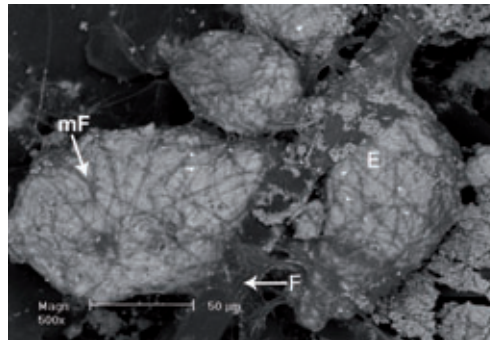


Abb. 4: REM-Bild (BS), Eisenhydroxidklumpen (E) umwickelt mit Fäden (mF) in einem Filterbeutel (F=Filterbeutel Fasern), KS RTG 18.08.2008

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH

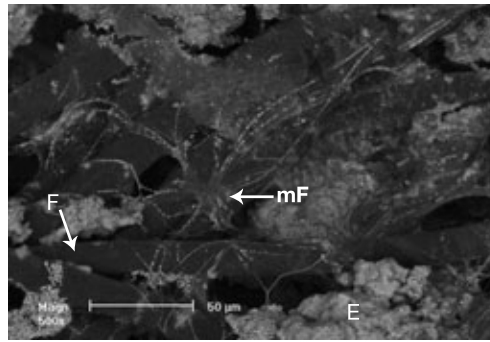


Abb. 5: REM-Bild (BS), Thiothrix-Bildungen (mF) auf Filterbeutel Fasern (F) neben Eisenhydroxiden (E), KS RTG 18.08.2008

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH

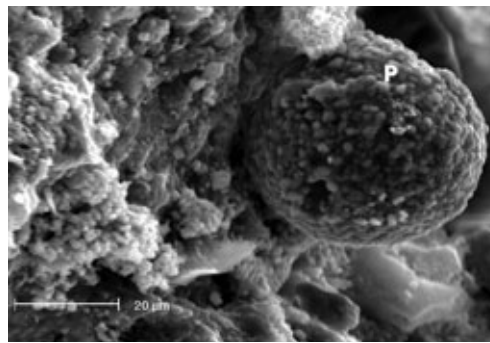


Abb. 6: REM-Bild (SE): Eisensulfidframboid (P) aus einer Sumpfpfrobe von KS-5 2007

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH

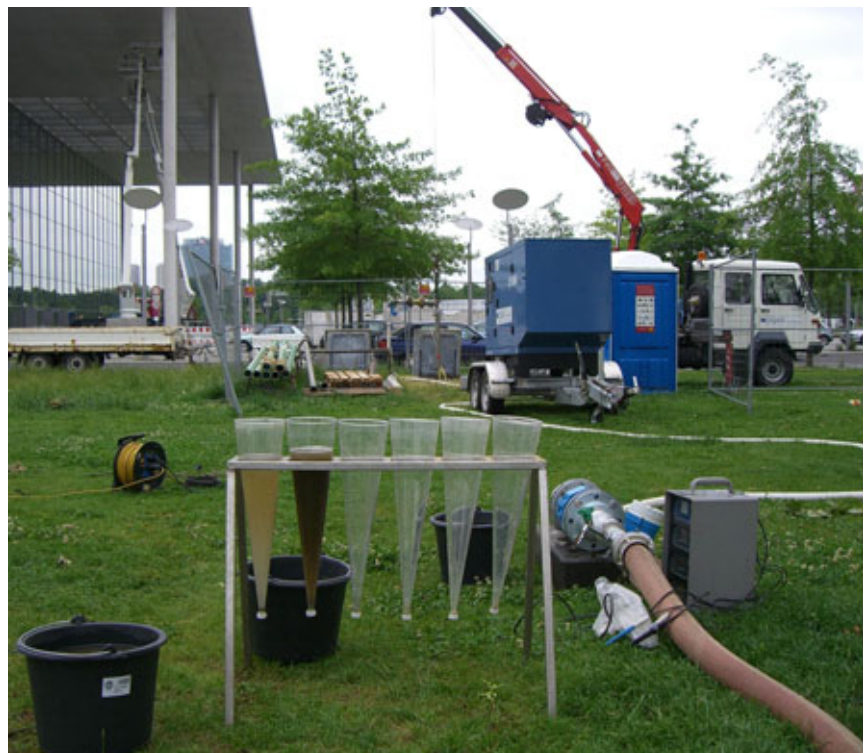


Abb. 7: Regenerierung 2007

Quelle: cleanwells GbF

hydroxiden vorkommen und deren Anteil saisonal geringfügig in Abhängigkeit von der Wassertemperatur schwankt.

Bei langen Filterstandzeiten wurden bereits 2001 Eisensulfide nachgewiesen, die aber anfangs nur einen sehr geringen Anteil an den Belägen einnahmen. Ab 2007 kamen vermehrt Sulfide vor, die sich relativ häufig innerhalb und an Unterseiten von Eisenhydroxidkrusten befanden. In Brunnensumpfpfropfen wurden vereinzelt auch Eisensulfidframboide identifiziert.

Bis 2007 waren die Sandgehalte in den Filterbeuteln mit z. T. über 20 Prozent relativ hoch, wobei der detritische Sand aus dem Grundwasserleiter eingetragen wurde. Nach der Regenerierung der Mehrheit der Brunnen im Frühjahr 2007 sanken deren Anteile an den Feststofffrachten deutlich auf ca. 5 Prozent. Ab dem Sommer 2008 waren annähernd 85 Prozent der Feststoffe sehr feinkörnige Eisenhydroxide mit Partikelgrößen um 5 µm, größere Eisenhydroxidkrusten waren kaum festzustellen.

Auch Wasseranalysen wurden regelmäßig zusammen mit Proben für mikrobiologische Untersuchungen genommen, um Ursachen für Änderungen im System rechtzeitig erkennen zu können. Die Wasserzusammensetzung des Grundwassers am Reichstag ist in **Tabelle 1** dokumentiert.

Dabei schwanken die Gehalte an Calcium zeitlich (alle Analysen von 1998 – 2008) von 90 bis 140 mg/l, Sulfat von 65 bis 200 mg/l, die Gesamtmineralisation von 0,5 bis 0,7 g/l, der DOC-Gehalt von 2,7 bis 8,5 mg/l und Natrium von 34 bis 62 mg/l. Der pH-Wert ist mit 7,38 schwach basisch. Schwankungen in der Grundwasserzusammensetzung werden auf Schwankungen in der Betriebsführung zurückgeführt.

Mikrobiologisches Monitoring und Partikelfrachten

Von August bis Oktober 2008 sanken die Filterstandzeiten von normalerweise über 2.000 Stunden mit Feststofffrachten um 5 mg/m³ bei einer Filtration mit Maschenweiten von 25 µm auf weniger als 100 Stunden mit Frachten bis zu 22 mg/m³. Bei den detaillierten Feststoffuntersuchungen an den fünf Brunnen des Südfeldes wurden daraufhin sehr unterschiedliche Partikelmengen und Zusammensetzungen in deren Förderstrom nachgewiesen.

Die Anteile der Feststoffe größer 0,45 µm reichten von 0,2 g Feststoff je m³ Wasser in der KS-10 und der KS-8 bis 6,2 g je m³ Wasser in der KS-2. Dabei wurden in der KS-2 überwiegend feinkörnige Eisenhydroxide (60 Prozent) gefunden, während in der KS-10 und der KS-8 vermehrt Sulfide (60 Prozent) vorkamen. Der Ton-Schluffanteil (statt des detritischen Sandanteils) betrug

in allen fünf Brunnen maximal 20 Prozent. Auffällig ist, dass die Brunnen mit den höheren Feststofffrachten zumeist auch überwiegend Eisenhydroxide enthielten.

Bei den untersuchten Filterbeuteln führten im Sommer 2008 geringere Feststoffmengen zu stärkeren Druckdifferenzen. Anstatt 200 Gramm konnten die Filterbeutel nun jeweils nur noch ca. 20 Gramm aufnehmen. Diese Feststoffe waren deutlich feinkörniger mit Partikelgrößen um 5 µm und bestanden hauptsächlich aus rötlichbraunen Eisenhydroxiden. Daneben gab es häufig größere, runde „Eisenhydroxidklumpen“, die mit dünnen, weniger dichten Fäden umwickelt waren (**Abb. 4**), die wiederum ca. 1 µm große Kügelchen, mit deutlich höherer Dichte enthielten (**Abb. 5**). Nach mikrobiologischen Untersuchungen durch die Projektpartner vom Geoforschungszentrum Potsdam handelte es sich bei diesen Fäden um Bildungen von Thiothrix [6]. Diese Bakterien waren für die Schleimbildung in den Filtern verantwortlich, die deren Filtervermögen deutlich herabsetzte.

Des Weiteren gab es ca. 20 µm lange, spiralig aufgewundene Partikel und ca. 10 µm lange und bis zu 2 µm dicke, gerade Röhrchen aus Eisenhydroxiden. Organische Fäden und Filme belegten die Filze der Filter und verstopften die Filterporen. Im September enthielten die „Eisenhydroxidklumpen“

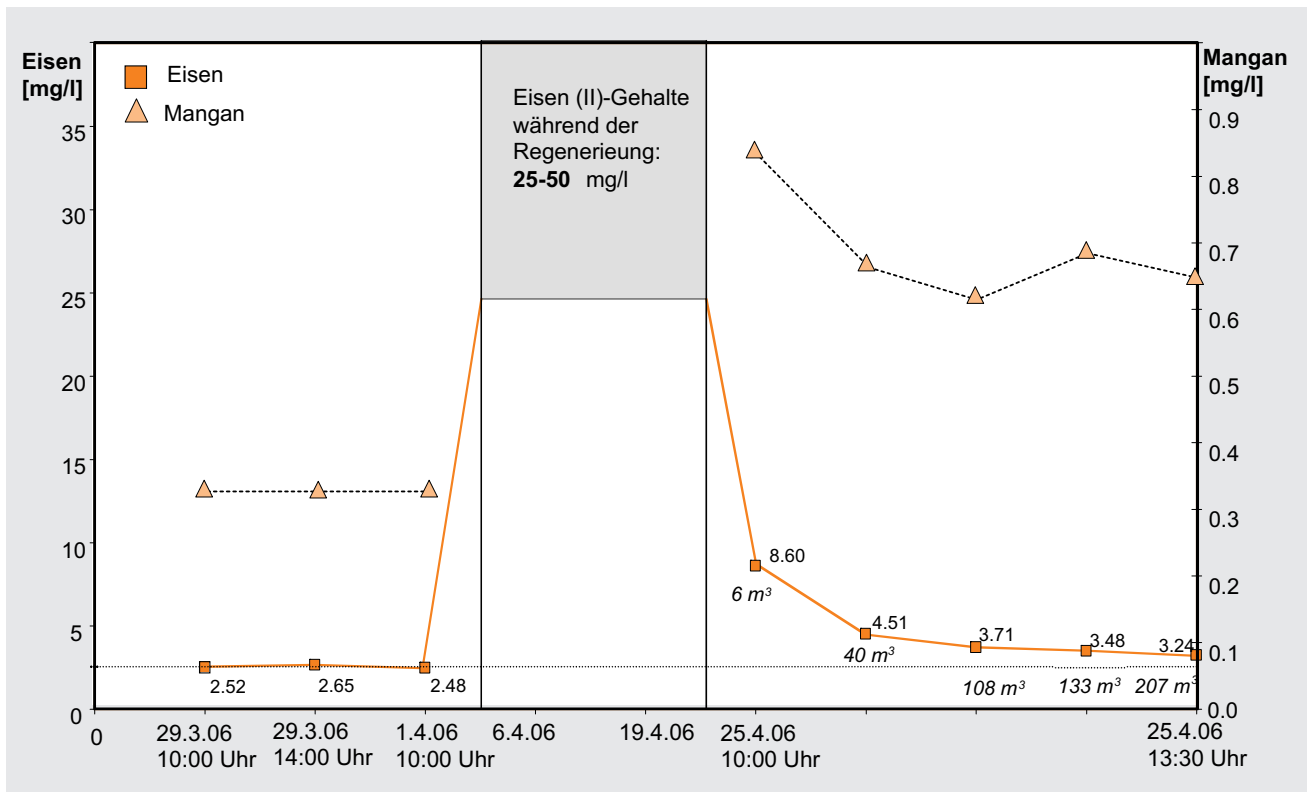


Abb. 8: Verlauf der Eisen- und Mangangehalte während der Regenerierung der KS-3 2006

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH

pen“ oft ca. 1 µm große, einzeln vorkommende, plättchenförmige bis ovale Eisensulfidpartikel. Dies konnte in der Form in den vorherigen Jahren nicht beobachtet werden. In der Sumpfpombe konnten vereinzelt auch Eisensulfidframboide (Abb. 6) nachgewiesen werden, die für eine mikrobielle Bildung sprechen.

Diese bakteriologische Besiedlung des Kältespeichers konnte im November 2008 durch eine Desinfektion aller Brunnen und der obertägigen Anlagenteile deutlich reduziert werden, wodurch sich die Filterbeutelstandzeiten wieder auf über 2.000 Stunden erhöhten. Im weiteren Verlauf des Kältespeicherbetriebes sanken die Feststofffrachten bei Filtration mit Maschenweiten um 25 µm auf 0,02 mg/m³. Dies zeigt, dass mikrobiologische Prozesse einen erheblichen Anteil an der Feststoffbildung einnehmen.

Mechanische Reinigung und hydro-mechanische Regenerierung

Die im Laufe des Kältespeicherbetriebes durch das systematische Monitoring gesammelten Daten ermöglichen eine vorausschauende und individuell auf die einzelnen Brunnen abgestimmte Instandhaltungsstrategie. Die Regenerierungen werden zwar generell in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt, einige Brunnen benötigen jedoch noch zusätzliche Maßnahmen. Die ersten Regenerierungen der

Kältespeicherbrunnen außer KS-11 und KS-13 fanden 2002 statt. 2006 wurde erneut der Brunnen KS-3 und 2007 insgesamt acht weitere komplett regeneriert (Abb. 7). 2008 umfassten die durchgeführten Regeneriermaßnahmen die Brunnen KS-1 und KS-9.

Die 60 Meter tiefen Brunnen sind im unteren Bereich mit je 15 Meter Wickeldrahtfilter (Schlitzweite: 0,5 mm) und einer Kies-sandpackung (Korngröße des Filterkieses: 0,71 – 1,25 mm) umgeben. Saisonal bedingt, werden mit schwankenden Raten maximal 60 m³/h injiziert bzw. gefördert. Es wurden verschiedene mechanische und hydromechanische Verfahren zur Brunnenregenerierung angewandt und ihre Wirkung hinsichtlich der Injektivität bzw. Produktivität der jeweiligen Brunnen bestimmt.

Zunächst wurden die mehrschichtigen Eisenhydroxidbeläge mittels mechanischer Reinigung durch Bürsten gelöst und entfernt. Eine darauf folgende zusätzliche hydromechanische Regenerierung mittels Hochdruck oder Druckwellenverfahren verbesserte die Wirkung deutlich. Bisher wurden folgende Regenerierverfahren eingesetzt:

- mechanische Reinigung mittels Bürsten und Abpumpen der Brunnen (2002, 2006, 2007, 2008);

- hydromechanische Regenerierung mittels Hochdruck (2002, 2006)
- chemische Regenerierung mittels Kieswäscher (2002, 2006)
- hydromechanische Regenerierung mittels Druckwellenverfahren (2007, 2008)
- chemische Regenerierung mittels Druckwellenverfahren (2007, 2008)

Die Hochdruckreinigung erfolgte ausschließlich im Filterbereich und wurde jeweils in 3-Meter-Abschnitten durchgeführt. Die Hochdruckanlage arbeitete mit einem Arbeitsdruck von 160 bis 250 bar und es wurde gleichzeitig Wasser aus dem jeweiligen Arbeitsabschnitt abgepumpt und auf seinen Feststoffgehalt hin kontrolliert. Ebenfalls zum Einsatz kam ein Druckwellenverfahren, bei dem mit einem Impuls-generator in Arbeitsabschnitten von jeweils 0,5 Meter und in Abstand von 40 Sekunden drei Mal Druckwellen mittels eines Gasgemisches erzeugt wurden.

Chemische Regenerierung

Trotz der Stickstoffbeaufschlagung der Brunnen ist eine umfangreiche Verockerung nachgewiesen worden. Darüber hinaus sind die Brunnen teilweise versandet und es lassen sich temporäre Verschleimungen beobachten. Generell treten drei Gruppen von Partikeln im Förderstrom der Brunnen und obertägigen Anlagen auf:

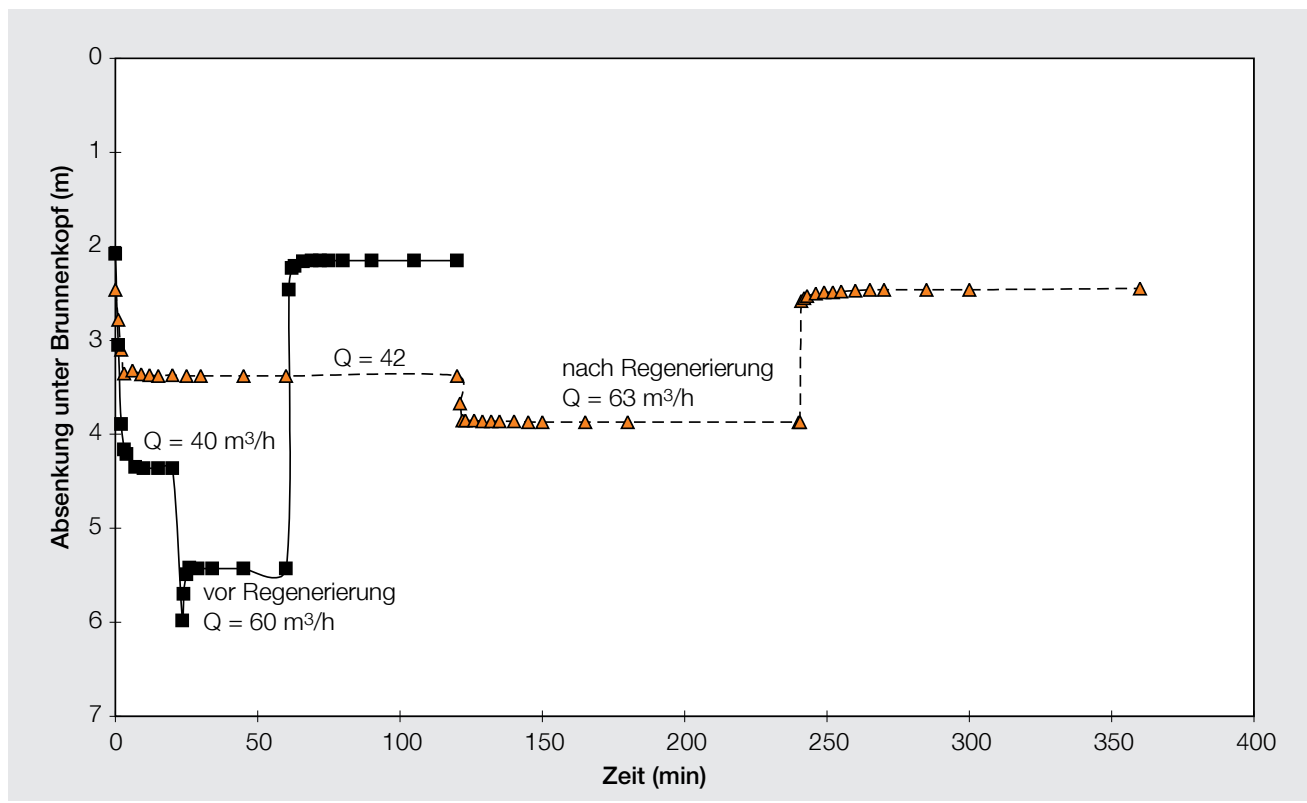


Abb. 9: Pumpversuche der Bohrung KS-9 (2008) vor und nach der Regenerierung des Brunnen

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH



Abb. 10: Filter von KS-1 vor Regenerierung 2008

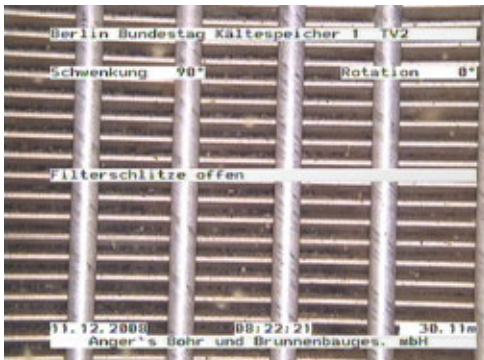


Abb. 11: Filter von KS-1 nach Regenerierung 2008

jeweiligen Behandlungsabschnitten während der Reaktionszeit wurden sie so lange abgepumpt, bis sie frei von Zerfallsprodukten und die Eisengehalte auf grundwassertypische Werte gesunken waren.

Die Regenerierlösung ist ein starkes Reduktionsmittel und enthält Natriumsalze, die während ihrer Verweilzeit im Grundwasser zu chemisch und mikrobiologisch unbedenklichen Reaktionsprodukten zerfallen. Dies führt zu einer Erhöhung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit und der Sulfidgehalte und auf Grund der Auflösung der Eisenhydroxide zu auffälligen Eisen-(II)-Gehalten im Grundwasser. Der pH-Wert ändert sich nicht wesentlich [7]. Diese vier Parameter wurden während des Abpumpens des Regenerates mittels Messsonden und Teststäbchen überwacht. Daneben wurden auch der Sandgehalt und die Trübung erfasst.

In Abbildung 8 sind die Eisen- und Mangankonzentrationen im Verlauf einer Regenerierung dargestellt. Deutlich wird, dass sich die Konzentration von Eisen im Wasser in Folge der Wirkung des Reduktionsmittels stark erhöht. Mittels der kontinuierlichen Bestimmungen der Eisenkonzentration, der Förderrate und der Zeit der Entnahme des Fluids nach dem Einwirken des Regeneriermittels lässt sich relativ gut die Menge des aus dem Brunnen entfernten Eisen(II)s bestimmen, die in den einzelnen Brunnen sehr stark variiert. Besonders in Bereichen, in denen der Aquifer feinkörniger ausgebildet ist, werden größere Eisen(II)-Gehalte mobilisiert. Dies wird vor allem darauf zurückgeführt, dass sich hier zuvor die Eisenhydroxide und -sulfide bohrlochnah in größeren Mengen abgelagerten.

Bestimmung der Ergiebigkeit und Nachweis der Regenerierung der Brunnen

Die Bestimmung der Produktivitäten der einzelnen Brunnen ist nur eingeschränkt möglich, da zumeist mehrere sich gegenseitig beeinflussende Brunnen gleichzeitig in Betrieb sind. Auf Grund der großen geologischen Inhomogenitäten ergeben sich auch starke Schwankungen der Ergiebigkeiten zwischen den einzelnen Brunnen von 30 bis 90 m³/h/m. Nach den entsprechenden Tests vor den jeweiligen Regenerierungen zeigte sich aber, dass die primäre Ergiebigkeit jeweils um bis zu 40 Prozent reduziert war.

In Abbildung 9 sind die hydraulischen Daten der Pumpversuche vor und nach der Regenerierung des Brunnens KS-9 im

Jahre 2008 dargestellt. Bei einer Rate von ca. 60 m³/h wurde vor der Regenerierung eine Absenkung des Wasserspiegels von 3,4 Meter und nach der Regenerierung von 1,9 Meter nachgewiesen. Somit konnte die Produktivität der Bohrung von 17,6 m³/h/m auf 33,1 m³/h/m erhöht werden, was fast einer Verdopplung entspricht. Eine vergleichbare Verbesserung der Ergiebigkeit wurde auch bei einer 2002 durchgeführten Regenerierung erreicht. Eine Gegenüberstellung absoluter Produktivitätswerte, wozu auch die Primärproduktivität des Brunnens (1998) zählt, ist nicht sinnvoll, da die hydraulische Beeinflussung durch die jeweils umliegenden Bohrungen erheblich ist (Abb. 1). Die Förder- bzw. Injektionsraten innerhalb des Feldes variieren dabei zwischen 60 und 300 m³/h.

Mit Kamerabefahrungen konnte die Wirkung der mechanischen Reinigung und eventuelle Beschädigungen durch die Regeneriermaßnahmen aufgezeigt werden (Abb. 10 und 11). Zusätzlich wurden die Brunnen mittels fokussiertem Gamma-Log vermessen. Die Intensität der Gammastrahlen wurde vor allem durch den Ton- und Feldspatanteil geprägt, der bohrlochnah wirkt. Reine Quarzsande wiesen niedrige Gamma-Intensitäten von 15 bis 40 API auf. Dabei musste berücksichtigt werden, dass der Edelstahl-Wickeldraht die natürliche Gammastrahlung des bohrlochnahen Bereiches dämpfte. Es zeigte sich aber, dass die Werte im Bereich des Filters der einzelnen Brunnen vor der Regenerierung überwiegend höher waren, als danach. Besonders groß waren diese Unterschiede im Bereich schluffreicher Sandlagen. Es kann also angenommen werden, dass es in Folge des Kältespeicherbetriebes zu Tonumlagerungen innerhalb des Aquifers rund um den Brunnen gekommen ist, die durch die mechanische Regenerierung beseitigt werden konnten. Dass Tone relevant sind, zeigen auch die Feststoffuntersuchungen, die Ton- und Schluffgehalte bis 20 Prozent aufwiesen.

Bei der Regenerierung von KS-1 und KS-9 wurden 2008 unterschiedliche Mengen des Regeneriermittels verwendet. Im Brunnen KS-9 wurden 150 kg eingesetzt, während KS-1 nur mit 75 Kilogramm behandelt wurde. Die Mengen korrelierten mit den Gehalten des gelösten Eisen(II)s im rückgeführten Wasser, die bei KS-9 deutlich höher als bei KS-1 waren (Abb. 12).

Zusammenfassung und Ausblick

Durch rechtzeitige Brunnenregenerierungen und angewandte technische Maßnahmen

- (1) Es finden sich in den Filtersäcken des Kältespeichers sehr untergeordnet Filtersandpartikel, Kunststoff- und GFK-Fasern, selten auch Rostpartikel. Am Gesamtanteil der Partikel sind diese Bestandteile mit << 1 Prozent als vernachlässigbar einzuschätzen.
- (2) Durch die stark wechselnden Förder- bzw. Injektionsraten werden aus dem Aquifer trotz Kiespackung und Filterrohr detritische Partikel ausgetragen und umgelagert, deren Anteil am gesamten Partikelinhalt beträgt ca. 20 Prozent.
- (3) Der Hauptanteil mit etwa 80 Prozent der im Kältespeicher bewegten Partikel wird auch dort neu gebildet. Davon sind ca. 80 bis 85 Prozent Eisenhydroxide. Der Anteil der Sulfide, der zum größten Teil aus Eisensulfiden besteht, aber auch zunehmend Kupfersulfide enthält, ist mit ca. 5 Prozent gering. Mit ca. 10 bis 15 Prozent werden Karbonate (Calcit, Aragonit) gebildet.

Entsprechend der Mineralogie der analysierten Brunnenbeläge wurde bei den chemischen Regenerierungen ein pH-neutrales Reduktionsmittel eingesetzt, das zur Auflösung von Eisen- und Manganhydroxiden geeignet ist. Das Mittel wurde in Wasser gelöst und abschnittsweise in den zu behandelnden Filterabschnitt injiziert. Nach einer Umwälzung der Arbeitslösung in den

zur Vermeidung der Eisenhydroxidausfällungen konnten die Produktivitäten und Injektivitäten der Brunnen bisher ohne Unterbrechung aufrechterhalten werden. Die bisher durchgeführten verschiedensten mechanischen, hydromechanischen und chemischen Regenerierverfahren haben gezeigt, dass nur eine kombinierte hydromechanisch-chemische Regenerierung den Brunnenbetrieb langfristig sichern kann. Obwohl eine chemische Regenerierung einen deutlich höheren zeitlichen und technischen Aufwand erfordert, wird diese durch die Nachhaltigkeit der durchgeführten Maßnahme ausgeglichen.

Von den eingesetzten hydromechanischen Verfahren zeigte das Druckwellenverfahren

besonders gute Ergebnisse. So wurde der Brunnen KS-3 im Jahre 2006 vor der Regenerierung, nach der hydromechanischen und dann nochmals nach der chemischen Regenerierung hydraulisch getestet. Die hydromechanische Regenerierung erbrachte bereits eine Verbesserung der Injektivität um mehr als 50 Prozent, die jedoch durch den anschließenden Einsatz eines pH-neutralen Reduktionsmittels nahezu verdoppelt wurde.

In den zehn Jahren des Kältespeicherbetriebes am Reichstag werden durch das systematische Monitoring der Betriebsdaten nicht nur die individuell auf den einzelnen Brunnen abgestimmten Instandhaltungsmaßnahmen ermöglicht, son-

dern vor allem die Funktionstüchtigkeit der gesamten Gebäudeklimatisierung der Parlamentsbauten sichergestellt. Eine wirtschaftliche Nutzung des Kältespeichers in einem ausgeglichenen Verhältnis von Kältegewinnung und -einspeicherung wird auch in Zukunft auf der Grundlage einer sorgfältigen Interpretation geochemischer und mikrobiologischer Parameter nachhaltig gewährleistet sein. Die sich bei scheinbar ungestörtem Anlagenbetrieb anbahnenden Störfälle können frühzeitig identifiziert und behoben werden.

Danksagung

Die hier dargestellten Daten wurden überwiegend im Rahmen eines Forschungsvorhabens erhoben, welches durch das Bundeswirtschaftsministerium (Förderkennzeichen 0329809C) gefördert wurde. Ganz herzlich möchten wir uns für die Unterstützung der Bundestagsverwaltung bedanken.

Literatur:

- [1] Kabus 1997
- [2] Kabus & Seibt 2000
- [3] Kranz et al. 2007
- [4] Seibt & Kabus 1997
- [5] Lerm & Alawi 2008
- [6] Lerm 2009, freundl. Mitt.
- [7] „Regenerierung und Sanierung von Brunnen“, Houben & Treskatis, Oldenbourg Industrieverlag 2003

Autoren:

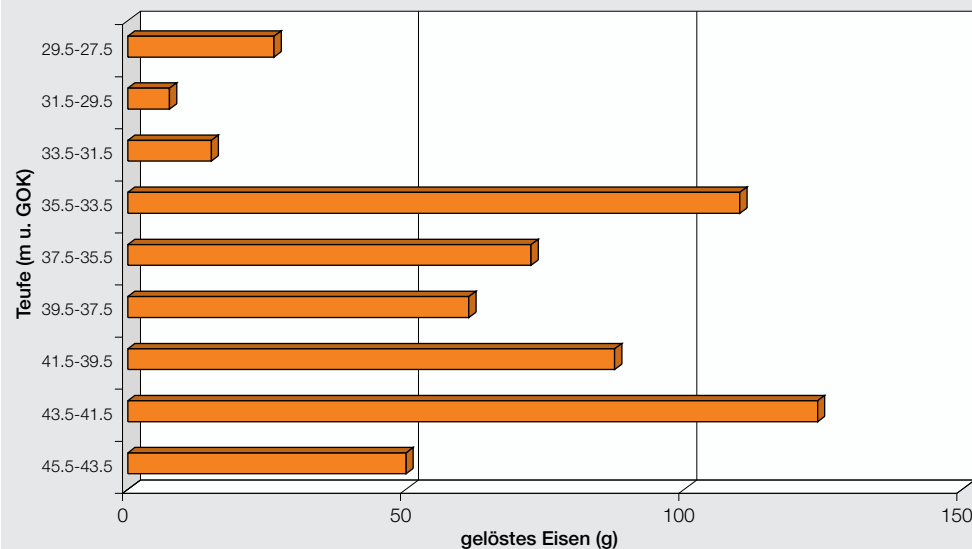
Dr. rer. nat. Markus Wolfgramm
Geothermie Neubrandenburg GmbH
Seestr. 7A
17033 Neubrandenburg
Tel.: 0395 36774-0
Fax: 0395 36774-11
E-Mail: gtn@gtn-online.de
Internet: www.gtn-online.de

Dipl.-Geol. Kerstin Rauppach
Geothermie Neubrandenburg GmbH
Seestr. 7A
17033 Neubrandenburg
Tel.: 0395 36774-0
Fax: 0395 36774-11
E-Mail: gtn@gtn-online.de
Internet: www.gtn-online.de

Päivi Puronpää-Schäfer, M. A.
cleanwells GbR
Stadtgrabenstr. 9
78628 Rottweil
Tel.: 0741 153-50
Fax: 0741 153-33
E-Mail: cleanwells@cleanwells.de
Internet: www.cleanwells.de

Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH

gelöste Eisenmengen beim Freipumpen von KS1 2008



gelöste Eisenmengen beim Freipumpen von KS9 2008

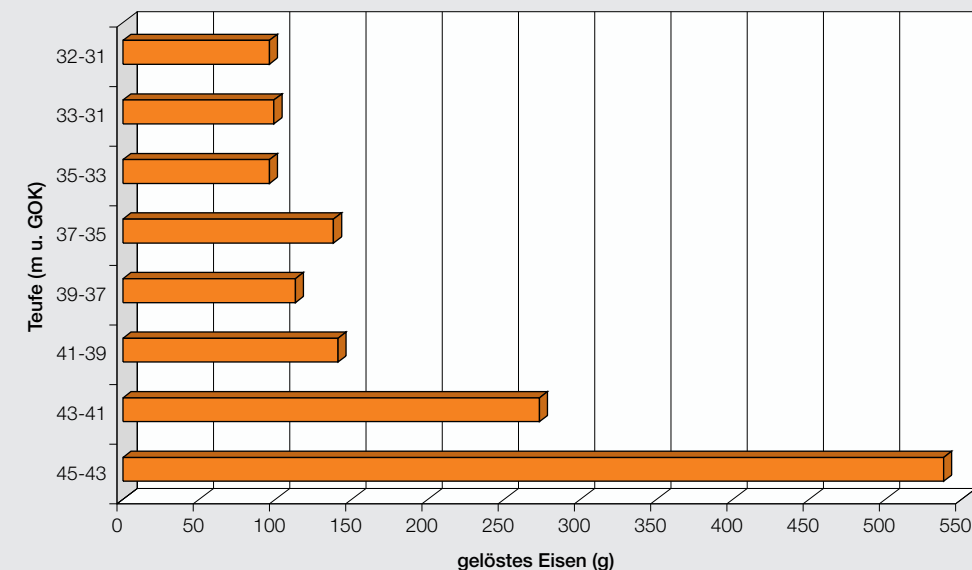


Abb. 12: Entferntes Eisen(II) aus der Bohrung KS-9 und KS-1 in Folge der Einwirkung des eingesetzten pH-neutralen Reduktionsmittels