

Sanierung eines Tertiärtiefbrunnens durch Tiefersetzen von Sperrohren

Thomas Trätzl

1. Allgemeines

Zunehmende anthropogene Grundwasserbelastung, unter anderem bedingt durch Landwirtschaft und Industrie, hat dazu geführt, daß die beim Bau des Brunnens installierten Abdichtungen heutzutage nicht mehr ausreichen, um unerwünschte Zuflüsse in die noch unbelasteten Förderhorizonte zu verhindern. Wie über Jahre hinweg die kontinuierliche Beprobung der Brunnen nachweist, bildet die Ausbauverrohrung in Verbindung mit der Filterkiespackung oftmals eine Vertikaldrainage für trinkwassergefährdende Stoffe aller Art.

Um diese »schleichende« Verunreinigung erschlossener, selbst noch unbelasteter Aquifere sicher und auf Dauer wirksam zu unterbinden, hat sich im südbayerischen Raum der Einbau einer tieferreichenden Sperrohrtour mit dahinterliegender Zement-Dämmer-Abdichtung bewährt.

Diese Einschubverrohrung bietet ferner die Möglichkeit, folgende Zustandsmängel an Brunnen zu beheben:

- ▶ Deformationen oder Bruch an Voll- oder Filterrohren bzw. am alten Sperrohr
- ▶ Korrosionslochfraß an Voll-, Filter- oder Sperrohren
- ▶ Nicht vorhandene oder schadhafte Abdichtungen, unter anderem bedingt durch Ribbildung in der Zementation, Setzungen oder Ausspülungen
- ▶ Undichtigkeiten an Rohrverbindungen
- ▶ Verkeimungen im Ringraum zwischen Sperrohr/Bohrlochwand und Ausbauverrohrung

Im folgenden Fall war eine erheblich über dem Grenzwert von 10 µg/l liegende Belastung an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im geförderten Tertiärwasser des Tiefbrunnens der Grund für die zu-

ständigen Behörden, eine nachweislich wirksame Sanierung des Brunnens zu fordern. In der Begründung hieß es unter anderem: »Mit dem Gemeinschaftsgut Grundwasser ist gemäß den Grundsätzen des unter § 1a Abs. 1 und 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) so sorgfältig umzugehen, daß eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften vermieden wird und jede vermeidbare Beeinträchtigung unterbleibt. Dies gilt insbesondere für die tertiären Grundwasservorkommen, die die letzte gesicherte Trinkwasserreserve und somit die einzige relevante Quelle für die Notwasserversorgung der Stadt München darstellt.«

2. Vorbereitende Maßnahmen beim teilweisen Rückbau

Der 1968 von der E+M Bohr GmbH abgeteufte Brunnen (Bild 1a) wurde gemäß den damaligen Vorgaben der Behörden und der Bauleitung mit einem zementierten Stahlsperrohr DN 600 bis 51 m unter Gelände gegen Oberwasserzutritt abgedichtet.

Im indirekten Spülbohrverfahren ist der Brunnen bis zur Endteufe von 200 m im Durchmesser 570 mm gebohrt worden. Ausgebaut wurde er mit kunststoffbeschichteten Stahl-Voll- und Filterrohren DN 350 bis Gelände und verkiest mit Quarzfilterkies 2–3 mm.

Um die genaue Absperrtiefe der neuen Sperrohrtour in Abhängigkeit von Brunnenleistung und Kontaminationszonen optimal festzulegen, war es notwendig, die aktuellen baulichen und betrieblichen Daten des Brunnens zu erfassen:

- ▶ Durchführung eines Leistungspumpversuches aus allen erschlossenen Aquiferen (Bild 5)
- ▶ Zielgerichtete, stockwerkspezifische Beprobung des Brunnens durch U-Pumpe mit Doppelpacker
- ▶ TV-Befahrung
- ▶ Geophysikalische Meßreihen (GG, GR, FEL, TEMP, CAL)
- ▶ Neigungsmessung mit Multi-Shot

Nach der Lokalisierung und Quantifizierung der PAK-belasteten Zuflußhorizonte war es möglich, anhand der gesammelten Daten folgendes Sanierungskonzept vorzulegen:

- a) Schneiden und Ziehen des alten Brunnenausbaues DN 350 bis ca. 117 m

- b) Einbau einer neuen Sperrohrtour DN 457 x 10 mm bis ca. 120 m und Abdichtung mit Zement-Dämmer-Suspension
- c) Anschließende chemisch-mechanische Regenerierung des verbleibenden Brunnenausbaues
- d) Leistungspumpversuch mit Beprobung

3. Nachträgliches Tiefersetzen von Sperrohren

Nach der Genehmigung des wasserrechtlichen Bescheids (gem. WHG) und der Freigabe durch das zuständige Bergamt konnte mit den Arbeiten am Brunnen begonnen werden.

In Abhängigkeit von der Freispültiefe, des Bohrverfahrens und der neuen Sperrohrtour wurde eine vollhydraulische Drehbohranlage vom Typ E + M U3 für diese Sanierungsmaßnahme ausgewählt. Mit einer Hakenregellast von ca. 15 t gewährleistet diese Anlage die sichere Bewältigung aller Bohr- und Hebearbeiten. Des weiteren umfaßte die Baustelleneinrichtung zwei Spülungstanks mit einem Fassungsvermögen von je 17 m³ sowie Doppelwandbohrgestänge zum Luftheben, Mischanlagen und Kompressoren.

3.1 Verlängern des alten Sperrohres DN 600

Da sich der Brunnenkopf in unter Tage liegenden Produktionsanlagen befand, mußte das alte Sperrohr DN 600 durch den Montageschacht bis ca. 1 m über Gelände verlängert werden, um Störungen und Verunreinigungen in der Produktionsstätte zu verhindern. Außerdem ermöglichte die Sperrohrverlängerung das sofortige Freispülen des Filterkieses im Lufthebe-Bohrverfahren, da ein ausreichender Differenzdruck zwischen dem Spülungsspiegel und der Einblastiefe gegeben war.

3.2 Auffüllen des alten Brunnenausbaues (Bild 1b)

Um eine Beschädigung des verbleibenden Brunnenausbaues bzw. der verbleibenden wasserführenden Schichten durch Bohrspülung und evtl. durchdrückende Abdichtung zu vermeiden, ist der Brunnenausbau von 200 m bis 124 m mit desinfiziertem Quarzfilterkies



Brunnenbaumeister Thomas Trätzl, geb. 1969; Ausbildung zum Brunnenbauer; 1991 erster Bundesieger beim Leistungswettbewerb im Brunnenbauer-Handwerk; seit 1991 bei der E + M Bohr GmbH, Hof/Saale

Vor der Sanierung

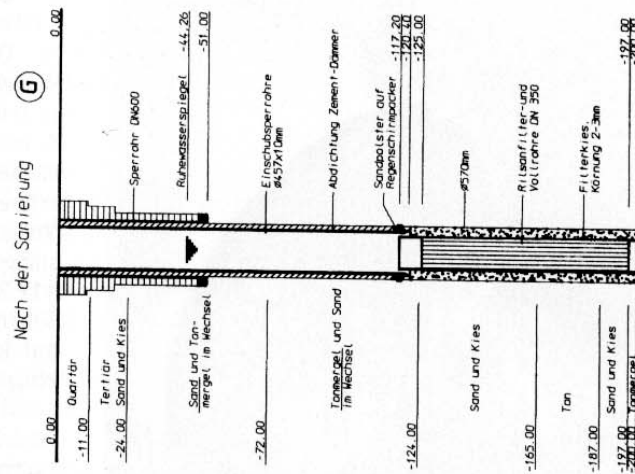
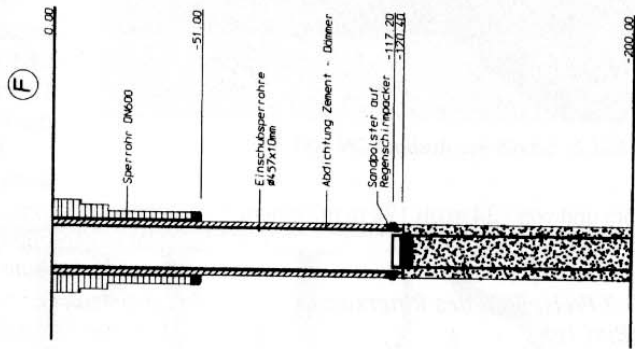
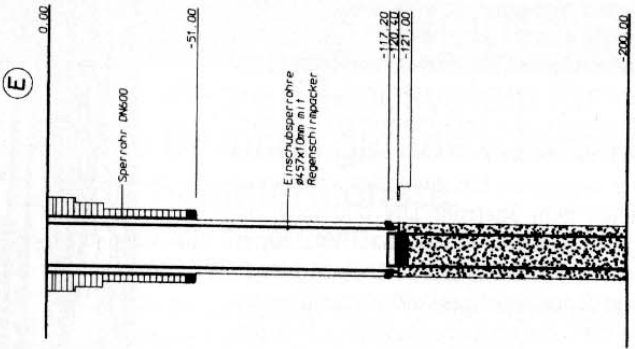
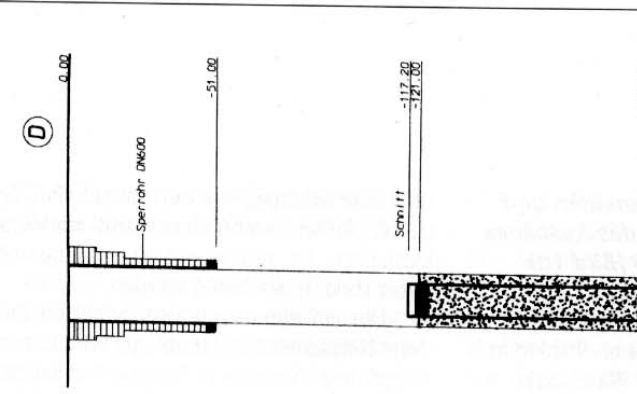
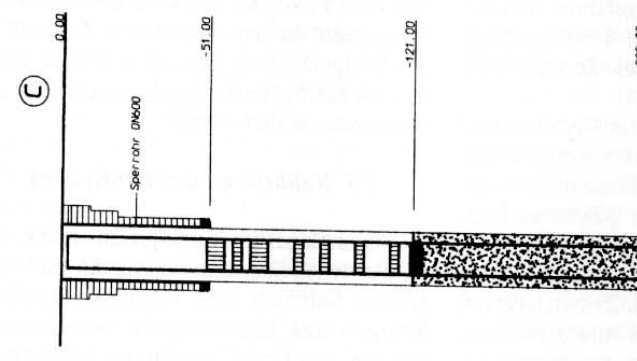
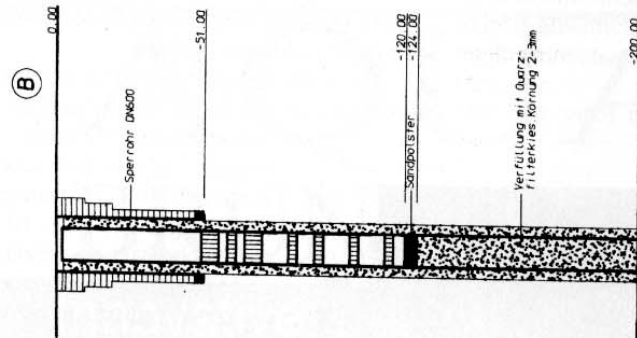
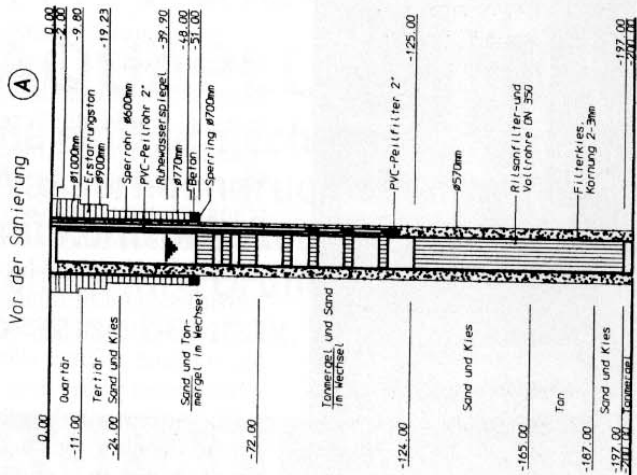


Bild 1: Systemskizze Tiefbrunnensanierung

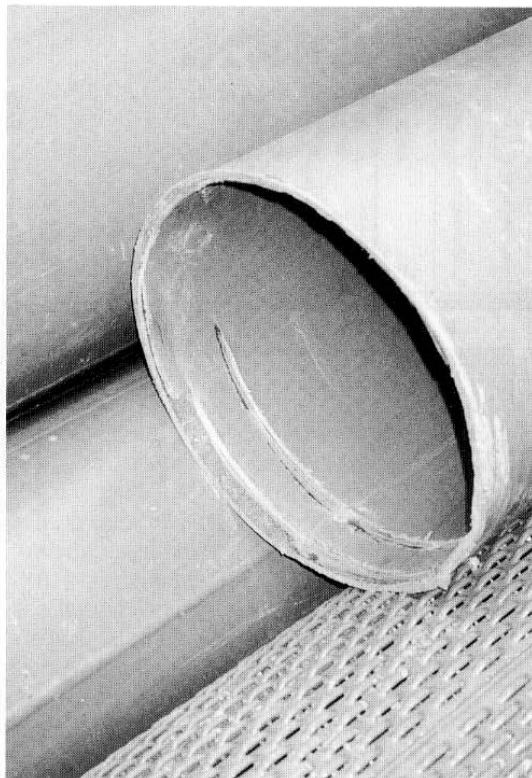


Bild 2: Schnitt des Ausbaus DN 400

2–3 mm und von 124 m bis 120 m mit einem Sandpolster aufgefüllt worden.

3.3 Freispülen des Ringraumes (Bild 1c)

Um die Bohrung ab 51 m vor Nachfall aus geologischen Schichten zu schützen, mußte von Beginn an mit Bohrspülung gearbeitet werden. Das erste Auffüllen des Ausbaues bis Oberkante Verlängerungsrohr erfolgte mit einer hochviskosen CMC-Bentonit-Spülung, um die Verluste in den Filterbereichen rasch zu minimieren.

Nachdem der Spülungsspiegel konstant bei Geländeoberkante (GOK) gehalten werden konnte, begann das Freispülen des Ringraumes zwischen dem Sperrrohr DN 600 bzw. der Bohrlöchwand und dem Ausbau DN 350, im indirekten Spülbohrverfahren. Zum Einsatz kam ein doppelwandiges Lufthebestänge mit einem max. Außendurchmesser von 105 mm; als Bohrwerkzeug wurde lediglich ein »Schrägschnitt« am Gestängefuß verwendet.

Das Freispülen des 1–2 mm-Filterkieses erfolgte unter ständigem Abloten des Ringraumes. Anhand der aktuellen Teufe, des rechnerischen Ringraumvolumens und der geförderten Filterkiesmenge konnten Auskesselungen bei der damaligen Neubohrung bzw. Kiesbrückenbildung beim Freispülen erkannt werden. Nach dem ca. 200 h dauernden Freispülen des Ringraumes bis 120,4 m wurden die gesicherten und freigelegten Peilrohre DN 50 von 120 m bis GOK ausgebaut.

3.4 Schneiden und Ziehen des Ausbaues DN 350 (Bild 1d)

Der Schnitt (Bild 2) der ril-sanbeschichteten Stahlvollrohre mit einer Wandstärke von 6 mm erfolgte mittels eines wasserhydraulischen Rohrschneiders. Dazu wurde der 3-Rollenschneider über ein Gestänge bis zur Schnittstelle bei 117,2 m eingefahren und der Kraftdrehkopf der Bohranlage auf langsames Rechtsdrehen eingestellt.

Der für das Ausfahren und Andrücken der Schneidräder notwendige Wasserdruck wurde über eine 3-Zylinder Plungerpumpe (150–200 l/min bei max. 40 bar) erzeugt.

Nach ca. 25 min. war am Auslösen des Andruckkolbens und des damit verbundenen Druckabfalles erkennbar, daß das Vollrohr durchtrennt war.

Dieses Schneiden könnte auch mit Schußtechnik oder

Rohrfräser erfolgen, allerdings in einer Schnittqualität (aufgestülpte und deformierte Schnittstellen), die für eine Brunnensanierung dieser Art ungünstig ist.

Da die Ziehbarkeit der Filter- und Auf-

satzrohre abhängig von der Anzahl alter Zentrierungen und eventuell vorhandener »Filterkiesnester« ist, mußte mit einem Innenrohrheber (Bild 3) gearbeitet werden.

Die auf einem schrägen Schlitten montierte Halbschale mit Zahnbesatz wird über ein mitgeführtes Stahlseil in Fangposition gebracht und im Ausbau verkeilt. Der am Gestänge verschraubte Innenrohrheber wurde aus Stabilitätsgründen im Vollrohr zwischen 104 m und 113 m angesetzt.

Nach einem anfänglichen Ziehwiderstand von ca. 15 t konnte der Ausbau ohne Probleme gezogen werden. Bei höherer Zugkraft, als das Bohrgerät in der Lage ist zu leisten, könnte auch mit hydraulischer Zugeinrichtung der Anfangszug erzielt werden.

3.5 Kalibrieren des Bohrloches

Grundlage für die erfolgreiche Zementation der neuen Sperrrohtour war ein kalibergerechtes Bohrloch ohne »verbackene« Filterkiesreste. Die Kaliberfahrt ist Voraussetzung für eine gute Umhüllung der neuen Sperrrohtour mit Abdichtungssuspension und eine gute Anbindung der Abdichtung an die freigespülte Bohrlochwand.

Technisch wurde diese Kalibrierung mit einem 6 m langen Überbohrrohr mit Zahnschuh, eingefahren an einem Doppelwandgestänge DN 200, durchgeführt.

Ein größerer Gestängequerschnitt war erforderlich, um notfalls auch verbackene Filterkiesklumpen fördern zu können. Dabei ist aber auf eine ausreichende Austragsgeschwindigkeit ($v \sqrt{t}$ ca. 10–15 m/sec oberhalb des Injektors) und Spülungsumlaufmenge (Q ca. 28 m³/min) zu achten.

3.6 Einbau der neuen Sperrrohtour DN 457 bis 120,4 m (Bilder 1e und 4)

Der Einbau der Stahlsperrohtour DN 457 x 10 mm erfolgte in 6-m-Längen. Die Zentrierung wurde durch halbmondförmige angeschweißte Flacheisen erreicht. Der Rohrschuh ist mit einer leichten »Trompete« versehen worden, um das »Überlappen« über den verbliebenen Ausbaustrang DN 350 zu erleichtern. Ein doppelter, mit Sand gefüllter »Regenschirm« über dem aufgestülpten Rohrschuh stellt die sichere Trennung zwischen der neuen Abdichtung und dem Filterkiesringraum her.

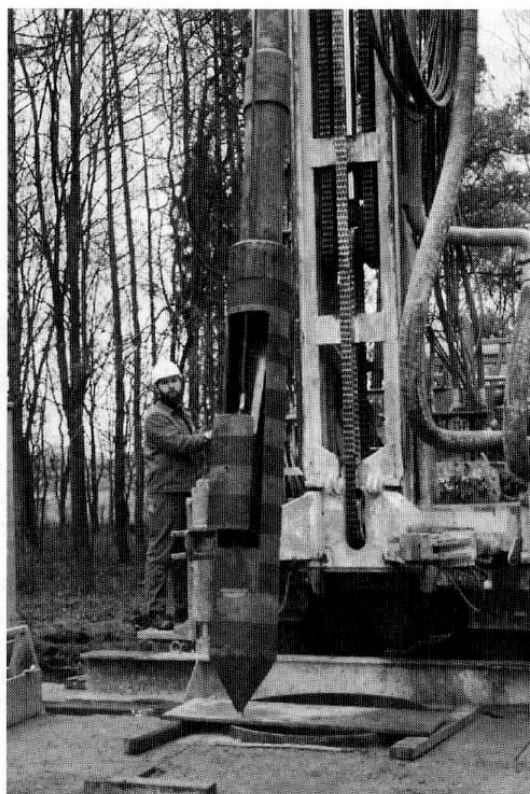


Bild 3: E+M Innenrohrheber



3.7 Verpressen des Ringraumes mit Abdichtungssuspension (Bild 1f)

Um ein einwandfreies Gelingen der Zementationsarbeiten zu gewährleisten, war es vorab notwendig, folgende Berechnungen anzustellen:

- ▶ Zulässige Zementierhöhe $H_{(zul)}$ der Sperrrohrtour DN 457 x 10 mm
- ▶ Abdichtungsmenge
- ▶ Mischungsverhältnis und Zuschlagstoffe der Abdichtungssuspension

Die Berechnung der max. zulässigen Zementierhöhe wurde über die Formel

$$H_{(zul)} = 42 \times \left(\frac{s \times 100}{F_1 \times F_2 \times (Y_a - Y_i)} \right)^3 = (m)$$

angestellt (nur zulässig bei innen gefülltem Rohr).

Dabei gilt:

s = Wandstärke der Stahlsperrohre in mm

D = Außendurchmesser der Stahlsperrohre in mm

F1 = Sicherheitsfaktor für die Ovalität (Unrundheit) der Rohre

F2 = Sicherheitsfaktor für die Wandstärke der Rohre

Y_a = Spezifisches Gewicht der Abdichtungssuspension außen

Y_i = Spezifisches Gewicht der Spülung innen

Die Berechnung ergab unter Einhaltung hoher Sicherheitsfaktoren eine $H_{(zul)}$ von 555 m.

Die *Abdichtungsmenge* konnte unter Berücksichtigung des rechnerischen Ringraumvolumens und der freigespülten Filterkiesmenge relativ genau festgelegt werden.

Aufgrund der Forderung des Umweltschutzreferates der Stadt München, bei Zementationen und Injektionen im Untergrund den Chrom-VI-Gehalt des Suspensionsfiltrats unter 0,1 mg/l zu halten, war es notwen-

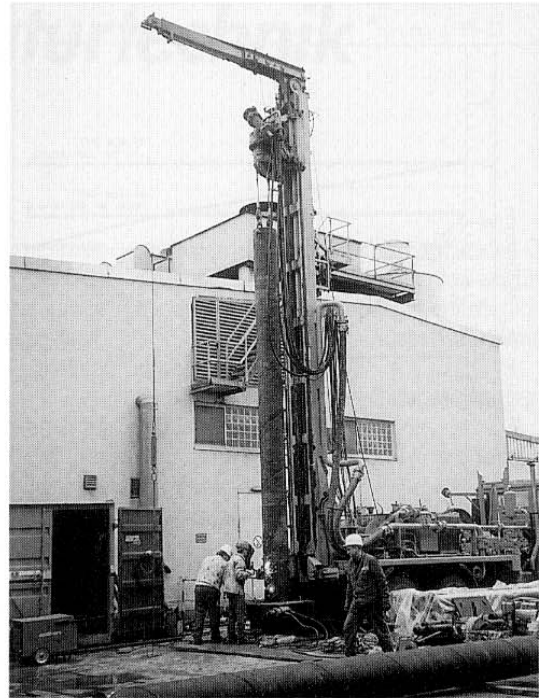


Bild 4: Sperrrohreinbau

AQUAPLUS® BRUNNENSANIERUNG

Innovative, patentierte Technik seit über 40 Jahren

**Vertrauen ist gut . . .
. . . Kontrolle ist besser!**

AQUAPLUS - WellJet®

die einzige mechanisch-hydraulische Wasserhochdruck-Brunnenreinigung mit kontrolliertem Drehdüsensystem reinigt Ihre Brunnen schonend und präzise bei max. Leistungssteigerung!

Verlangen Sie das Original!

Das ideale Pflegesystem für Ihre Brunnen gerade während der Sommermonate:

- ⇒ für alle Pegel und Brunnen von DN 50 - DN 1500 optimal einsetzbar,
- ⇒ für Brunnentiefen bis 1500m, Horizontalfilterbrunnen und Rohrleitungen,
- ⇒ mit Auspumpen der gelösten Ablagerungen aus dem Filterkies und dem Brunnengrund,
- ⇒ umweltfreundlich - ohne Chemikalien,
- ⇒ ohne behördliche Auflagen - daher kurzfristig und schnell durchführbar,
- ⇒ attraktive Sommer-Festpreise.

AQUAPLUS® Käthe Munding GmbH & Co. KG Telefon 0049-9261/30-21, 22, 23
D-96317 Kronach - Fischbach 29 Telefax 0049-9261/95266

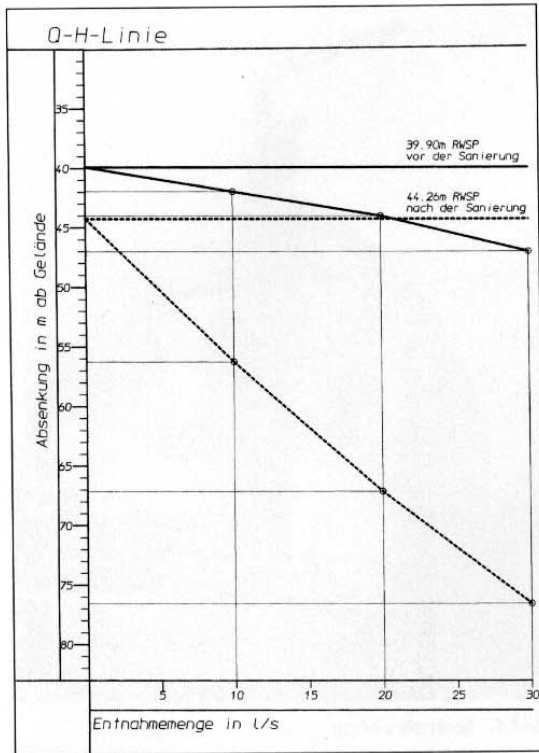


Bild 5: Q-H-Linie vor/nach der Sanierung

dig, Abdichtungsmaterialien mit geringem Chrom-Anteil auszuwählen.

Um bei einer Überschreitung den Chrom-VI-Gehalt dennoch reduzieren zu können, ist FeSO_4 (Eisensulfat) als *Zuschlagstoff* auf der Baustelle vorgehalten worden.

Das *Mischungsverhältnis* der Abdichtungssuspension von 2,4 · 1,0 aus den Bestandteilen Dämmen (ein aus natürlichen Rohstoffen gefertigter, hydraulisch abbindender Trockenmörtel) und Unterwasserzement wurde mit einem Wasser/Produkt-Faktor von 0,6 angesetzt. Um die Festigkeit herabzusetzen, d. h. die Abdichtung nach dem Abbindevorgang plastisch zu halten und so Schwundrißbildung zu verhindern, wurde der Suspension 2% Bentonit zugegeben.

Die Hauptzementation erfolgte 24 Std. nach dem Einbau einer Fußzementation im Contractorverfahren über zwei 180° versetzt eingebaute 5/4"-Verpreßblanzen.

Als Mischaggregate kamen zwei E+M-Rührwerke zum Einsatz, die über ein Hosenrohr mit dem Verpreßaggregat, einer stufenlos druck- und mengenregulierbaren Monopumpe (30 bis 150 l/min bei 20 bar Verpreßdruck), verbunden waren.

Gemäß den Vorgaben der Behörden erfolgte eine ständige Kontrolle des Chrom-VI-Gehaltes mit dem Schnelltest »Microquant«, und entsprechend den gemessenen Werten wurde der Mischung FeSO_4 (in Wasser gelöst) zugegeben.

Bis zum Austritt reiner Abdichtungssuspension über Tage wurde ohne Unterbrechung gearbeitet.

3.8 Spülsaustausch und Freispülen des »verlorenen« Ausbaues (Bild 1 g)

Nach einer Abbindezeit von 48 Std. konnte mit dem Leichtern der Bohrspülung im Bereich der neuen Sperrrohtour begonnen werden. Das anschließende Freispülen des temporär eingebrachten Quarzfilterkieses und Sandes von 200 m bis 120 m erfolgte mit einer Mammutpumpe und unter Klarwasserzugabe, um eine Verunreinigung des Ausbaues zu vermeiden.

4. Entwickeln und Reinigen der verbliebenen Filterstrecke

Unmittelbar nach dem Freispülen des Ausbaues folgte die kombinierte chemisch-mechanische Regenerierung mit einer abschnittswisen Entsandung der Filterstrecke.

Chemisch-mechanische Regenerierung

Über ein Schüttgestänge wurde 37%ige Salzsäure HCl reinst (ohne Arsen und organische Chlorverbindungen) bis 20 m unter den Ruhewasserspiegel injiziert.

Eine nachfolgende mechanische Bearbeitung des Ausbaues erfolgte mit einer Kolbenbürsten-Kombination bei ständiger pH-Wert- und Auflandungs-Kontrolle.

Abschnittswises Entsanden

Die verbliebene Filterstrecke von 125 m bis 197 m wurde mittels einer mit Manschetten versehenen EMU-Unterwasser-Motorpumpe intensiv entsandet. Die technische Sandfreiheit von 10 mg/m³ wurde bei Pumperraten von 4,4 bis 8,8 l/sec erreicht, was einer ca. 5- bis 10fachen Anströmgeschwindigkeit gegenüber der Betriebsentnahme entspricht.

5. Abschließender Leistungspumpversuch (Bild 5)

Der abschließende Leistungspumpversuch in den drei Pumpstufen 10, 20 und 30 l/sec ergab erwartungsgemäß eine neue, steilere Ergiebigkeitskurve (Q-H-Linie) als vor der Sanierung. Anhand dieser Daten konnte eine neue Pumpeinrichtung mit $Q_{\max} = 21$ l/sec festgelegt werden.

Die Auswertung der beim Pumpversuch entnommenen Wasserproben bestätigte mit ihren Ergebnissen »PAKs unterhalb der Nachweisgrenze« den Erfolg der durchgeführten Maßnahme.

6. Qualitätssicherung

Um den Sanierungserfolg nicht nur auf Basis von Wasseranalysen zu dokumentieren, war es ferner notwendig, Qualitätssicherungsmaßnahmen durchzuführen. Dabei ist grundsätzlich zu bemerken, daß bei optischer und geophysikalischer Überprüfung der Sanierungsmaßnahme ein Bezug zum Zustand des Brunnens vor der Sanierung herzustellen ist. Der durch diesen Vergleich sichtbar werdende Unterschied ist unter anderem ein Maß des Sanierungserfolges.

- ▶ TV-Befahrung des Brunnens vor und nach der Sanierung
- ▶ Messung und Protokollierung der Bohrspülung während des Freispülens
- ▶ Vergleich zwischen der rechnerisch ermittelten Gesamt-Abdichtungsmenge und der tatsächlich verbrauchten. Da die tatsächlich verbrauchte über der rechnerischen lag, bestätigte dies den korrekten Einbau der Abdichtung.
- ▶ Entnahme von Rückstellproben am Abgang des Mischaggregates zur Kontrolle der Abbindezeit und dem Nachweis der Abdichtungsgüte nach dem vollständigen Abbinden
- ▶ Protokollierung von Verpreßdruck und Menge, sowie die Zugabe von gelöstem FeSO_4 zur Reduzierung von Chrom-VI
- ▶ Aufzeichnung der pH-Wert Änderung und der Auflandung bei der chemisch-mechanischen Regenerierung
- ▶ Geophysikalische Meßreihen (GG, GR, FEL, TEMP)
- ▶ Ergiebigkeitskurve vor und nach der Sanierung/Regenerierung

7. Resümee

In den einzelnen Bundesländern wird bei Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen unterschiedlich verfahren. Die hier beschriebene aufwendige Sanierung eines Tertiärtiefbrunnens zeigt, daß sich die Absperrung oberflächennaher Wasser mittels einer zweiten Sperrrohtour als eine zuverlässige Möglichkeit erweist, das Gefährdungspotential einer Grundwasserverunreinigung zu minimieren.

Einen weiteren Vorteil dieser Sanierungsmaßnahme bietet die größere Dimensionierung des Vollrohrbereiches, insbesondere bei der Pumpenwahl.

Nebeneffekt für den Brunnenbetreiber ist eine erhebliche Kostensenkung beim evtl. Rückbau des Tiefbrunnens. ☒

Alle Abbildungen: E+M Bohr-GmbH

Literaturhinweise

- [1] Etschel H.: Kritischer Außendruck und Rohrzementation, Innerbetr. Arbeitsanweisung
- [2] Montagezement, Duisburg: Beton DIN-ZTV-ENV
- [3] Hütter, L.: Wasser und Wasseruntersuchung. – Verlag Salle + Sauerländer