

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Treskatis, Christoph

Ausbau von Brunnen im Festgestein

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101799>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Treskatis, Christoph (2011): Ausbau von Brunnen im Festgestein. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Baugrundaufschlüsse: Planung, Ausschreibung, Durchführung, Überwachung und Interpretation. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





Ausbau von Brunnen im Festgestein

Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis
Dozent an der RWTH Aachen und TU Darmstadt
c/o Bieske und Partner GmbH, Im Pesch 79, 53797 Lohmar
02246 921220 c.treskatis@bup-gup.de

Zusammenfassung

Der Ausbau von Festgesteinsbrunnen folgt im Wesentlichen den Grundsätzen des DVGW-Arbeitsblattes W 123. Kluft- und Karstgrundwasserleiter unterscheiden sich erheblich von Porengrundwasserleitern hinsichtlich der Art der Zuflusszonenverteilung und des Stockwerksbaus. Die Brunnenanströmung ist in Festgesteinen auf wenige, oft geringmächtige Hohlräume begrenzt. Der Stockwerksbau orientiert sich nicht nur an Formationsgrenzen, sondern ist von der Gesteinsausbildung, von der Kluftdichte und dem Zerklüftungsgrad abhängig. Wasserwirtschaftlich nutzbare Hohlräume sind in Deutschland bis in Tiefen um 100 m, in Ausnahmefällen nur > 200 m zu erwarten. Grundsätzlich nehmen Wasserdargebot und hydraulische Durchlässigkeit aufgrund des zunehmenden Überlagerungsdrucks und der geringer werdenden Kluftöffnungsweiten mit der Tiefe ab. Daher sind bei der Ausbauplanung die zuflusswirksamen Kluftzonen und deren hydraulisches Potenzial in einer Bohrung über Flowmetermessungen zu bestimmen. Fehlverfilterungen oder Stockwerkskurzschlüsse werden durch korrekt platzierte Abdichtungen vermieden. Die Verkiesungsstrecke im Ringraum wirkt im Brunnen als Kurzschlussystem, das die hydraulisch aktivierbaren Kluftzonen verbindet. Auch hierzu sind in der Ausbauplanung entsprechende Erkenntnisse über geophysikalische und hydraulische Untersuchungen zu erarbeiten.

1 Einleitung und Begriffe

Der Ausbau von Brunnen im Festgestein folgt den gleichen technischen Standards und Richtlinien des DVGW-Regelwerks „Wasser“ wie bei Brunnen im Lockergestein. Jedoch sind bei der Positionierung der Filterstrecken, bei der Festlegung der Abdichtungen und bei der Filterkiesschüttung die hydraulischen und gesteinsmechanischen Eigenschaften der Festgesteinschichten zu beachten.



Bild 1: Sandsteinbank mit Vertikalklüften, horizontalen Schichtfugen und diagonalen Entlastungsklüften

Unter dem Begriff „Festgestein“ wird ein Komplex miteinander verkitteter, druckverfestigter und verwachsener Minerale bzw. Gesteinsbruchstücke mit oder ohne organische Beimengungen sowie Salze und Kohlen in fester Bindung verstanden, der eine axiale Druckfestig-

keit von mindestens 1 MPa aufweist und weder durch Schütteln noch durch Kneten in seine Bestandteile zerfällt [1].

Durch Verwitterungsprozesse und tektonische Vorgänge verlieren Festgesteine an Festigkeit und können mechanische und hydraulische Eigenschaften von Lockergesteinen erhalten.

Die hydrogeologischen Eigenschaften der Festgesteine werden durch die Gesteinsdurchlässigkeit und Trennfugendurchlässigkeit quantifizierbar. Erstgenannte spielt für die Wassergewinnung nur in Sandsteinen und karbonatischen Gesteinen eine Rolle. Die Trennfugendurchlässigkeit oder Wasserwegsamkeit ist dagegen die entscheidende Steuer- und Einflussgröße für die Wassergewinnung aus Festgesteinskomplexen. Sie beschreibt die Durchlässigkeit des Gesteinsverbandes aufgrund seiner Zerrüttung durch mechanische oder chemisch verursachte Trennfugen- und Hohlräume, wie Spalten, Klüfte, Schicht- und Schieferungsfugen oder Lösungshohlräume [2]. Bild 1 zeigt eine geklüftete Sandsteinbank im Luxemburger Sandstein, der als überregionaler Grundwasserleiter ein ergiebiges Grundwasservorkommen aufgrund seiner sehr guten Trennfugendurchlässigkeit und z. T. bedeutenden Gesteinsdurchlässigkeit aufweist.

Die Trennfugendurchlässigkeit bestimmt somit die Art, Richtung und das Ausmaß der hydrogeologischen Charakteristiken der Festgesteine. Die Grundwasserbewegung und die für die Wassergewinnung bedeutende präferenzielle Durchlässigkeit des Gesteinskomplexes ist praktisch auf die wasserwegsameren Hohlräume der Klüfte und Lösungsfugen begrenzt, während die Gesteinsdurchlässigkeit nur einen begrenzten bis sehr ge-



ringen Beitrag zum gewinnbaren Wasserdargebot im Festgestein beiträgt. Nur in intensiv zerbrochenen und verwitterten Gesteinsarealen nähern sich die hydrogeologischen Eigenschaften der Festgesteine denen der Lockergesteine an.

Daher ist bei der Planung von Brunnen im Festgestein das Hohlraumssystem möglichst genau zu erkunden und in die Ausbaukonzeption einzubeziehen.

Bild 2 zeigt den rezenten Aufschluss einer Verwitterungszone im Luxemburger Sandstein, die sowohl eine Trennfugen- als auch ausgeprägte Gesteinsdurchlässigkeit aufweist. Der Gesteinskomplex ist durch die Lösung des karbonatischen Bindemittels oberflächennah in einen dicht gelagerten Mittelsand übergeführt worden, dessen Porosität hier die Wasserspeicherung und Durchlässigkeit mitbestimmt.



Bild 2: Erosion im verwitterten Sandstein, der durch Lösung des karbonatischen Bindemittels seine Verbandsfestigkeit verloren hat und nun als Sand leicht erodierbar ist

Das hydraulische Verhalten des Grundwassers in Kluft- und Karstgrundwasserleitern ist vergleichbar. In Kluftgrundwasserleitern können in Abhängigkeit vom Durchtrennungsgrad des Gesteinskomplexes und von der Vernetzung der wasserwegsameren Trennfugen Abstandsgeschwindigkeiten und Durchlässigkeiten in gleicher Größenordnung vorkommen wie in Karstgesteinskomplexen. Dabei kann eine einzige Kluft mit weitreichender Vernetzung und Öffnungsweite im Grundwasserraum pro Zeiteinheit die gleiche Wassermenge in einer Bohrung bereitstellen, wie ein kiesiger Aquifer mit vergleichbarer Standrohrspiegelhöhe.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Grundwasserleiterarten ist die Konzentration des Grundwasserflusses auf wenige bevorzugte Fließbahnen und Austrittspunkte als Folge der voranschreitenden Verkarstung [2]. Dadurch wird der Erfolg einer Wasserfassung im Festgestein im Wesentlichen vom Durchtrennungsgrad des Gebirges und dessen Anschluss an eine Bohrung gesteuert. Bild 3 zeigt die Ausbildung einer bevor-

zugten Kluft im karbonatischen Sandstein in Folge der Verkarstung der vertikalen Trennfugen und Klüfte. Die Vertikalkluft ist hier zusätzlich mit Fein- und Mittelsand als Verwitterungsprodukt verfüllt. Dadurch ist die Wasserwegsamkeit hier gegenüber den offenen Klüften reduziert.

2 Trennfugendurchlässigkeit

Die Trennfugendurchlässigkeit ist abhängig von folgenden Faktoren:

- Wechsel des Materials (Schichtung, Bankung, s. Bild 1)
- Mechanische Beanspruchung tektonischer Art (Klüfte, Verwerfungen, Schieferungsfugen)
- Abkühlungsprozesse bei magmatischen Gesteinen (Abkühlungsfugen)
- Lösewirkung des Wassers und seiner Inhaltsstoffe bei Karbonaten, Salzen, Gips und Anhydrit (Lösungshohlräume verkarstungsfähiger Gesteine)

Für die Festlegung des Ausbaus von Brunnen ist das Erkennen der wasserproduktiven Trennfugen, deren Vernetzungsgrad im Raum und die daraus resultierende Durchlässigkeit des gesamten Gesteinsverbandes eine wichtige Bemessungsgröße.



Bild 3: Vertikalkluft, durch Lösung des Karbonates im Kalksandstein erweitert, als bevorzugte Bewegungsbahn für das Sicker- und Grundwasser im ansonsten wenig geklüfteten Gesteinskomplex



Im Gegensatz zum Lockergestein ist die Trennfugendurchlässigkeit im Grundwasserraum sehr heterogen ausgebildet, so dass die Anströmung eines Brunnens im Festgestein meist nur aus begrenzten Zonen des durchteuften Schichtenprofils erfolgt. Im Lockergestein geht man dagegen bei der Brunnenbemessung von einer relativ gleichmäßigen Anströmung des Brunnens über die gesamte Wassermächtigkeit aus.

Mit voranschreitender Teufe nimmt in der Erdkruste die Trennfugendurchlässigkeit ab, da die Verwitterungsvorgänge und die Öffnungsweite der Trennfugen mit der Überlagerungsmächtigkeit abnehmen. Dadurch nimmt die Wasserwegsamkeit und die Durchlässigkeit des Gesteinsverbandes mit zunehmender Teufe generell ab.

Zone	Teufenlage unter Gelände	Art der Durchlässigkeit
Verwitterungszone	weniger Meter	Sehr hohe Trennfugendurchlässigkeit, mäßige bis hohe Gesteinsdurchlässigkeit
Entspannungszone	von ca. 20 - 30 m im Sandstein bis zu 100 m in vulkanischen magmatischen Gesteinen und im Karst [2]	Sehr hohe bis mäßige Trennfugendurchlässigkeit, geringe Gesteinsdurchlässigkeit
Ungestörte Gebirgszone, Kompaktzone	ab 20 m, je nach Gesteinsart und tektonischer Beanspruchung	Sehr geringe Trennfugen- und Gesteinsdurchlässigkeit

Tab. 1: System der Zonen unterschiedlicher Trennfugendurchlässigkeit in einem Festgesteinskomplex

Ein Festgesteinskomplex kann in drei Zonen unterschiedlicher Wasserwegsamkeiten eingeteilt werden. Diese sind in der Tabelle 1 zusammengestellt worden.

Im Verwitterungsbereich zerstören physikalische und chemische Prozesse die chemischen und mineralogischen Beschaffenheiten der Festgesteine nahe der Erdoberfläche. Es entstehen Bruchstücke fester Gesteine verschiedenster Größe, die durch Hohlräume voneinander getrennt sind [2]. Die Gesteinsbruchstücke können auch in einer Matrix von Verwitterungsprodukten, wie Sanden oder Lehmen, eine mehr oder weniger mächtige Verwitterungszone bilden und die Wasserwegsamkeiten beeinflussen. Dabei greift die physikalische und chemische Verwitterung bevorzugt entlang der tektonischen Schwächezonen an (Bild 3). Bild 4 zeigt eine Verwitterungszone im Sandstein, die durch Pflanzenwurzeln durchsetzt ist und dadurch der Gesteinsverband stark aufgelockert wurde.

Die Verwitterungszone geht nach wenigen Metern in die Entspannungszone über. Diese Entspannungszone ist durch offene Trennfugen gekennzeichnet, die im Zuge der Entlastung des Gesteins durch tektonische Hebungsvorgänge geöffnet wurden. In diesem Bereich herrschen in den meisten Festgesteinskomplexen die günstigsten hydraulischen Randbedingungen für die Wassergewinnung und die Positionierung der Filterstrecken. Je nach geologischer Formation und Gesteinsart reicht diese wasserwirtschaftlich bedeutende Zone von wenigen Dekametern bis etwa 100 m, in Einzelfällen bis auf ca. 250 m unter Gelände. Ausnahmen sind Tiefenkarstzonen oder besondere Verwerfungszonen mit tief reichender Staffelung der Klüfte und Spalten, wie z.B. in magmatischen Gesteinen und sehr mächtigen Sandsteinen, z.B. im alpinen Raum oder in Beckenrandlagen wie z.B. im saarländischen Buntsandstein sowie im Luxemburger Sandstein.



Bild 4: Verwitterungszone im Sandstein mit Pflanzenwurzeln in Vertikalklüften. Die Wurzeln zersetzen einerseits das Gestein und andererseits weiten sie die Trennfugen auf.

In Festgesteinskomplexen folgt ab einer Tiefe von wenigen Dekametern die kompakte Gebirgszone, die durch eine reduzierte Kluftdichte, kompakte und diagenetisch verfestigte Gesteine und sehr geringe Kluffweiten gekennzeichnet ist. Hier bilden sich nur geringe wasserwegsame Zonen aus, die räumlich gering vernetzt sind. Erhöhte Durchlässigkeiten sind hier nur noch in tektonischen Kluffzonen und bevorzugten Karstabflussbahnen



zu erwarten. Diese Zone ist für den Ausbau von Brunnenbohrungen nur lokal von Bedeutung.

3 Stockwerksbau im Festgestein

Klüfte entstehen in der Regel durch tektonische Vorgänge und sind in ihrer Reichweite und Kluftweite vom Gesteinsverband und dessen petrographische Zusammensetzung abhängig [2]. Sie können Formationen und Gesteinskomplexe komplett durchschlagen oder auf einzelne Schichtbänke reduziert sein. Die mechanische Kompetenz der Gesteine, also deren Festigkeit, entscheidet über die Kluftausbildung, die Kluftweite und Kluftdichte.

Gesteine, die auf eine mechanische Beanspruchung mit Bruch reagieren, zeigen ein anderes Kluftmuster und Zerklüftungsgrad als Gesteine mit plastischen Verformungseigenschaften. Die Kluftweite ist in mächtigen Sandstein- oder Kalksteinbänken größer (Bild 1) als in geringmächtigen Bänken gleicher Petrographie.



Bild 5: Stockwerksbau im Festgestein: weitständige Klüftung im Sandstein mit Mergelsteinüberdeckung, in die sich die Vertikalklüfte aus dem Liegenden nicht fortsetzen

Kluftweite und Kluftdichte bedingen im Festgestein ein Hohlraumgefüge, dessen Vernetzungsgrad auch für den Stockwerksbau verantwortlich ist. Unter einem Grundwasserstockwerk versteht man nach der DIN 4049 die Abfolge von mehreren Grundwasserleitern, die durch schwer- oder geringdurchlässige Schichten voneinander getrennt sind. Im Lockergestein ist dies in der Regel durch die Abfolge von gut wasserdurchlässigen Sanden und Kiesen im Wechsel mit bindigen Schichten im Bohraufschluss gut erkennbar. Ferner zeigen getrennte Leiter oft einen unterschiedlichen Wasserchemismus. Für den Ausbau von Brunnen gilt grundsätzlich die Regel des DVGW-Arbeitsblattes W 123, dass nur ein hydraulisches oder hydrochemisches Stockwerk je Bohrung ausgebaut bzw. über einen Brunnen genutzt werden darf. Die in der Natur vorkommenden Stockwerke sind gegeneinander in der Bohrung abzudichten. Das genutzte Stockwerk darf somit selektiv und ausschließ-

lich verfiltert bzw. verkiest werden, das ungenutzte Stockwerk muss zur Bohrung hin abgesperrt werden.

Im Festgestein sind Stockwerkstrenner oft nicht alleine über die Gesteinsart definierbar, da sich das wasserwegsame Kluftsystem sowohl formationsintern als auch formationsübergreifend ausbilden kann. Je nach Reichweite und Tiefenausprägung der Vertikalklüfte oder Lösungsfugen können eigenständige Grundwasserleiterschichten schon von Natur aus „kurzgeschlossen“ worden sein. Ein Stockwerksbau ist somit unter den tektonischen Randbedingungen zu definieren und in der Praxis nur über Flowmetermessungen und Temperaturmessungen erkennbar.

Im Bild 5 ist das Beispiel einer formationsgebundenen Kluftausbildung im Sandstein unter einer Mergelsteinüberdeckung abgebildet. Hier ist der Stockwerksbau durch die Petrographie und die Verformbarkeit der Gesteine vorgegeben. In Bild 6 ist beispielhaft eine formationsübergreifende Ausbildung von zwei Grundwasserleitern (rechts) der Trennung von zwei Grundwasserleiterschichten in zwei Formationen durch eine nicht geklüftete Mergelsteinschicht (links) gegenübergestellt worden. Der Wasseraustausch zwischen beiden Sandsteinpaketen ist in diesem Fall über formationsübergreifende Klüfte oder Trennfugen möglich (Pfeile).

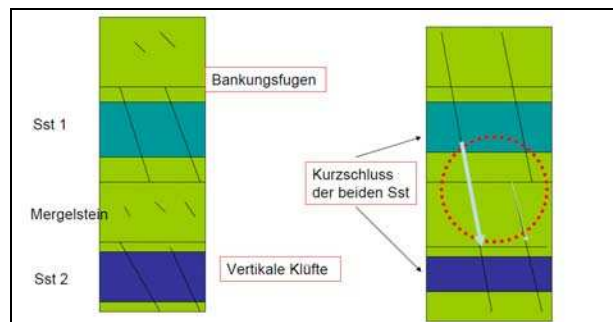


Bild 6: Stockwerksbau im Festgestein: links: Vertikalklüfte sind auf die Sandsteinbänke (Sst) begrenzt; rechts: Vertikalklüfte greifen über den Mergelstein in die beiden Sandsteinbänke über

Ein Ausbau würde im Fall der linken Säule nur eine Sandsteinbank je Bohrung erfassen, während im Fall der rechten Säule der Ausbau beide Sandsteinbänke erfassen könnte, ohne die Stockwerksregel zu verletzen.

4 Kurzschlussströmungen über Brunnenbohrungen im Festgestein

Brunnenbohrungen durchteufen im Festgestein die Verwitterungszone und reichen oft bis in die kompakte Gebirgszone. Beim Abteufen der Bohrung werden verschiedene petrographische Gesteinseinheiten durchbohrt, deren hydraulische Eigenschaften und Wirkungen aus den gewonnenen Gesteinsproben alleine nicht erkennbar sind. Ein Erkennen des Stockwerksbaus und



des Vernetzungsgrades der Trennfugen ist jedoch für einen fachgerechten Ausbau eines Festgesteinsbrunnens von großer Bedeutung. Die Teufe und der Ausbau von Festgesteinsbohrungen wurde in der Vergangenheit nach der Regel: „Je tiefer der Brunnen desto ergiebiger“ geplant und festgelegt. Diese Regel ist durch die heute möglichen geophysikalischen Messverfahren widerlegbar.

Kurzschlussströmungen können in einem Brunnen die Verockerung und den Austausch unterschiedlicher Wasserqualitäten induzieren und zu betriebstechnischen Einschränkungen führen. Dies bestätigen viele Brunnen im Buntsandstein und im Keupersandstein Süddeutschlands.

Neben dem Erkennen des Stockwerksbaus und der Zuflusszonen sind das Erkennen des Ruhewasserspiegels und die Bestimmung des abgesenkten Wasserspiegels von Bedeutung für die Ausbauplanung in einem Festgesteinsbrunnen.

Es werden im Festgestein folgende Kurzschlussituationen in Brunnen erwartet:

Formationsinterne Kurzschlüsse: Die Brunnenfilter bzw. der Kiesschüttung erschließen Grundwasser innerhalb einer geologischen Formation, das aus lokal oder regional wirksamen Teilgrundwasserleitern mit ursprünglich hydraulisch wirksamen Trennungen stammt. Hierzu zählt bei oberflächennah verfilterten Brunnen auch der Zutritt von Sickerwasser oder Oberflächenwasser in die Brunnenbohrung.

Formationsübergreifende Kurzschlüsse: Die Brunnenfilter und der Kiesfilter erschließen Grundwasser zweier oder mehrerer geologischer Formationen, die regional bis überregional als einheitliche Grundwasserleiter angesprochen werden. Hierzu zählen auch die Brunnen, in denen Grundwasser über die Bohrung in eine jüngere Formation auf- oder in eine ältere Formation absteigen kann.

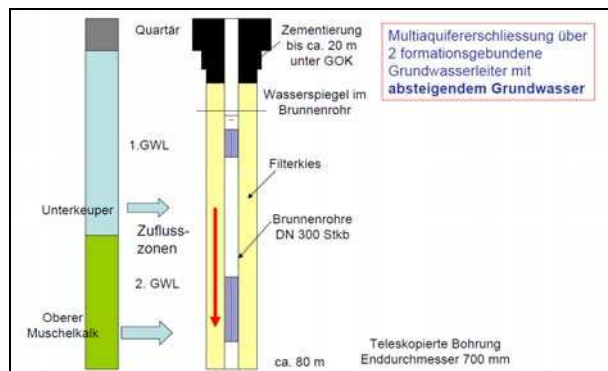


Bild 7: Stockwerksbau im Festgestein: Formationsübergreifende Multiaquiferschließung mit absteigendem Grundwasser

Der Wasseraustausch innerhalb eines Brunnens oder einer Bohrung ist ein wichtiger Indikator, der im Rahmen der Brunnenausbauplanung ermittelt werden muss. Der Auf- oder Abstieg der Wässer in einer Brunnenbohrung sowie Temperatur- oder Leitfähigkeitsanomalien sind typische Hinweise auf eine Kurzschlussströmung in Brunnen. Bild 7 und 8 zeigen die beiden Arten von Kurzschlussströmungen mit auf- bzw. absteigendem Grundwasser beispielhaft.

Die Kurzschlussströmung im ausgebauten Brunnen wird in diesen Beispielen über die sehr lange Kiesschüttung bedingt, die den Kurzschluss zwischen den ansonsten hydraulisch getrennten Aquiferen bewirkt.

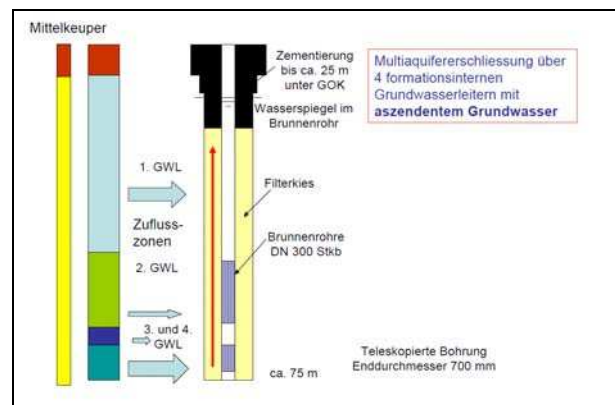


Bild 7: Stockwerksbau im Festgestein: Formationsinterne Multiaquiferschließung mit aufsteigendem Grundwasser aus dem Liegenden der Formation

5 Wasserspiegel und Brunnencharakteristik im Festgestein

Die Relation zwischen dem Ruhewasserspiegel und dem Betriebswasserspiegel wird in Festgesteinsbrunnen durch den hydraulischen Stockwerksbau und die Brunnencharakteristik gekennzeichnet [3]. Durch den Stockwerksbau, der sich oft an der Kluftdichte und der Vernetzung der Klüfte orientiert, können in Festgesteinsbohrungen unterschiedliche Zulaufniveaus mit separaten Wasserspiegeln angetroffen werden. Bild 8 zeigt das Beispiel eines Brunnens mit einem „schwebenden“ Wasserspiegel, der bei Förderung oberhalb des Betriebswasserspiegels verbleibt und so zum Nachlaufen von Fremdwasser in den Brunnen sorgt.

Aus dem über mehrstufige Pumpversuche ermittelten Absenkungs-Fördervolumenstrom-Diagramm einer Festgesteinsbohrung wird wie bei Lockergesteinsbrunnen die spezifische Ergiebigkeit ermittelt. Im Gegensatz zu Lockergesteinsbrunnen ist bei Festgesteinsbrunnen oft eine Unterteilung der Brunnencharakteristiken zu erkennen. Es können nach [3] folgende Typen unterschieden werden (Bild 9):



- Bohrungen und Brunnen mit streng proportionalem Absenkungszuwachs, ohne dass bei starker Entnahme ein Leistungsabfall festzustellen ist.
- Bohrungen mit geradliniger Brunnencharakteristik, die aber gegen Ende des Pumpversuchs steil nach unten abbiegt, da die an die Bohrung angeschlossenen Klüfte ab diesem Zeitpunkt nicht mehr Wasser heranführen können.
- Brunnen mit unregelmäßigem Verlauf der Brunnencharakteristik, die einen gegenüber dem Leistungszuwachs stärkeren Absenkungszuwachs andeuten. In diesen Fällen können nach Versteilungen auch Verflachungen der Kurven auftreten.

Die beiden erstgenannten Typen der Brunnencharakteristiken sind typisch für gespannte Aquifere, die im zweitgenannten Fall in einen ungespannten Aquifer durch „Entspannung“ der Kluftwasserspiegel übergeführt werden. Der dritte Fall ist typisch für ungespannte Aquifere, jedoch zeigen die Verflachungen an, dass hier ein Kluftsystem mit unterschiedlichen Trennfugendurchlässigkeiten und Reichweiten sowie unterschiedlichem Vernetzungsgrad aktiviert wird.

Eine Verflachung der Leistungskurven in Festgesteinsbrunnen kann auch durch das Freispülen von Klüften im Pumpprozess erklärt werden. Dies ist vor allem in den Brunnen zu erkennen, die nach einer starken Absenkungen des Ruhewasserspiegels plötzlich eine Reduzierung der Absenkung erfahren. Dieser Effekt kann auch beim Entwickeln der Brunnen auftreten.

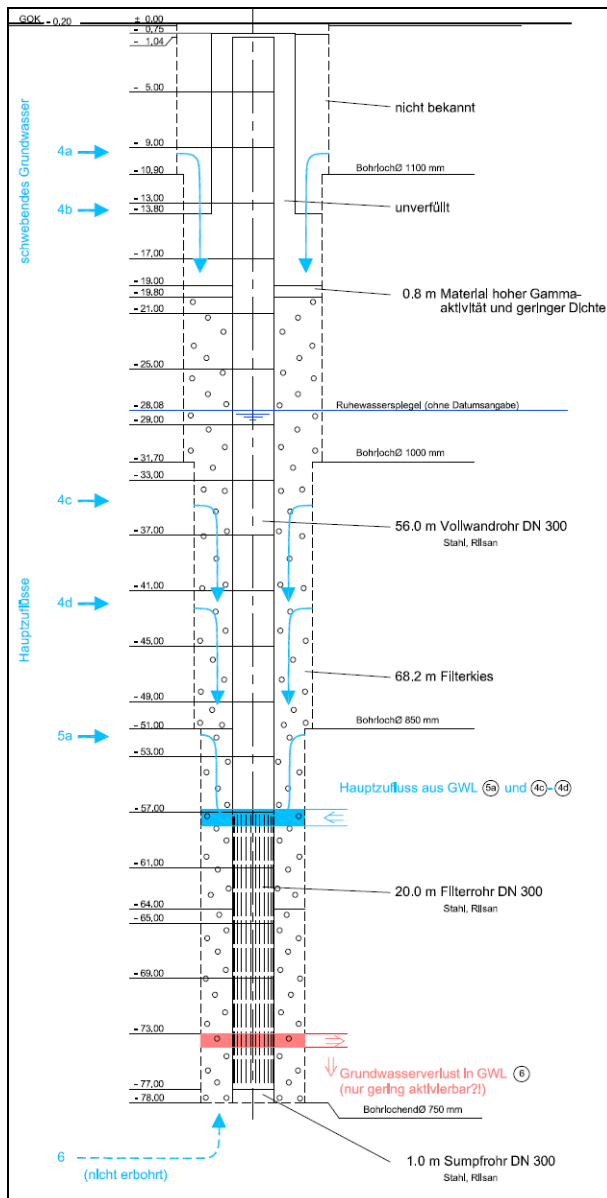


Bild 8: Stockwerksbau im Festgestein: Grundwasserzufluss aus dem oberen Leiter oberhalb des Ruhe- und Betriebswasserspiegels (Beispiel aus dem süddeutschen Mesozoikum)

6 Kiesschüttung und Abdichtung in Festgesteinsbrunnen

Die Funktion der Kiesschüttung von Festgesteinsbrunnen ist nach [4] im Wesentlichen eine Stützung des Ausbaus im Bohrloch. Eine weitere Funktion hat die Kiesschüttung bezüglich des „Kurzschlusses“ verschiedener Kluftzonen, die in Festgesteinsformationen meist in eng begrenzten Bereichen mit der Brunnenmantelfläche verschnitten sind. Beim Ausbau der Bohrung mit Filterrohren und einer Kiesschüttung ist diese Zuflusscharakteristik von Festgesteinsbrunnen zu beachten. In Bild 8 ist erkennbar, dass der Hauptzufluss in der Filterstrecke an deren Oberkante gemessen wurde. Dies weist auf einen Wasserzutritt aus dem Bereich oberhalb der eigentlichen Filterstrecke hin. Diese Zuflüsse wurden über Temperaturmessungen bestätigt. Hier findet der wesentliche Eintritt des Grundwassers in drei eng begrenzten Zonen in die Brunnenbohrung statt. Für die Brunnenanströmung bedeutet dies, dass in diesem Fall eine Entsandung oder Regenerierung der Zuflusskluftzonen unmöglich wird, da sich weder die Kluftfüllungen noch die leistungsmindernden Ablagerungen im Filterkies oberhalb der Filterrohre bearbeiten lassen.

Es werden im Festgestein nur selten Brunnen ohne Brunnenrohre im Grundwasserraum betrieben, da das Gebirge in der geklüfteten und somit auch wasserwegsamem Zone zu Nachfall neigt. Beispiele für unverrohrte Brunnen finden sich im saarländischen Buntsandstein [5]. In absandungsgefährdeten Kluftgrundwasserleitern ist jedoch eine Sandführung nur durch eine nach DVGW-Arbeitsblatt W 113 angepasste und entwickelte Filterkiesschüttung zu unterbinden. Bei stark verockungsanfälligen Brunnen werden im Festgestein seit einiger Zeit auch Glaskugeln im Bereich der Zuflusszonen eingesetzt [6].



Abdichtungen in Festgesteinsbrunnen werden über zementierte Sperrrohre sichergestellt (Bild 10). Neben dem Sperrrohrausbau wird der obere Teil einer Festgesteinsbohrung auch durch eine durchgehende Zementierung nach DVGW-Arbeitsblatt W 123 abgedichtet. Dadurch können Fremdwasserzuflüsse sicher unterbunden werden.

Der Einsatz von Tonschüttungen ist auf den Bereich der Unterschüttung oder im Bereich des Gegenfilters zwischen Kiesschüttung und Zementierung begrenzt. Eine Abdichtung des Bohrlochs mit Tonpellets oberhalb des Wasserspiegels ist zu vermeiden (Bild 11).

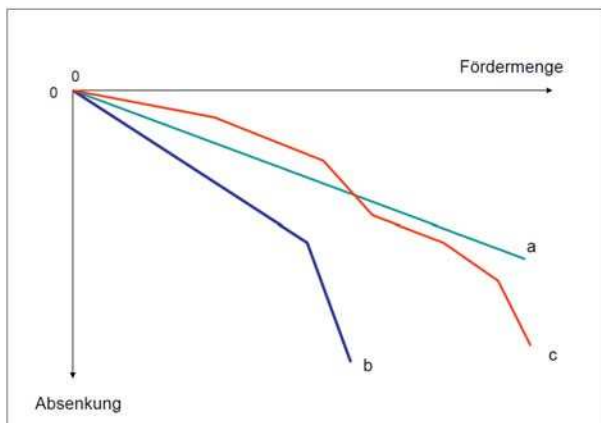


Bild 9: Beispiele für typische Brunnencharakteristiken in Festgesteinsbrunnen (Indizes siehe Text)

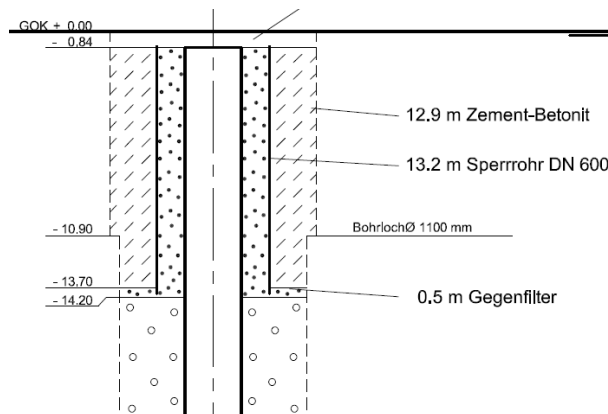


Bild 10: Beispiel: Abdichtung des Brunnen mit Sperrrohren oberhalb des Wasserspiegels.

Der Einsatz von Sperrrohren hat für die Beobachtung des Setzungsverhaltens und die spätere Sanierung des Brunnen deutliche Kostenvorteile. Ein Überbohren des alten Ausbaus wird technisch dadurch erheblich erleichtert.

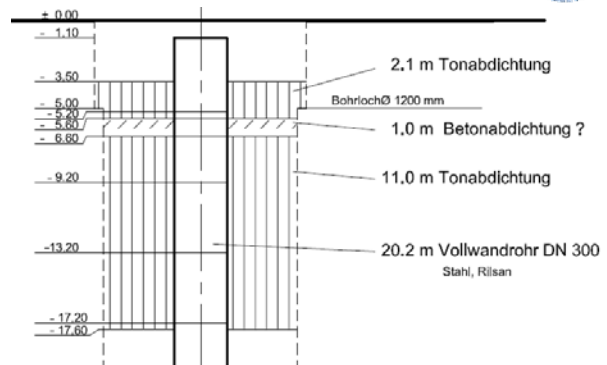


Bild 11: Beispiel: Ungeeignete Abdichtung des Brunnen mit Tonschüttung oberhalb des Wasserspiegels.

7 Ausführungsgrundsätze

Die Wahl der Ausbauteile, deren Positionierung im Bohrloch und die Art der Verkiesung und der Abdichtung kann in Festgesteinsbrunnen nur durch grundlegende hydrogeologische Untersuchungen und Klärung der Systemzusammenhänge sinnvoll vorgenommen werden. In der Vergangenheit wurden Brunnen im Festgestein meist zu tief und ohne Berücksichtigung der Zuflusszonen und der Wasserspiegel im Ruhe- und im Betriebszustand ausgebaut.

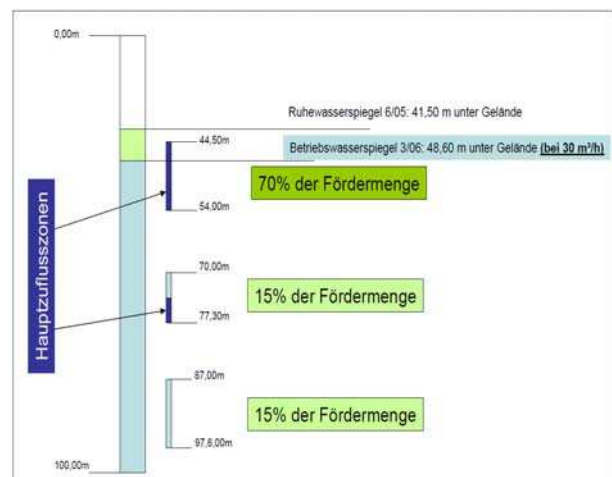


Bild 12: Bestimmung der Zuflusszonen vor Ausbau der Bohrung zum Brunnen: Ergebnisdarstellung als Grundlage der Ausbauplanung (Beispiel)

Bei der Wahl der Ausbauten sind folgende wasserwirtschaftlichen Grundsätze für Festgesteinsbrunnen zu beachten, die im Wesentlichen denen des DVGW-Arbeitsblattes W 123 für Lockergesteinsbrunnen entsprechen:

- Materialwahl ohne Beeinträchtigung der Roh- und Grundwasserbeschaffenheit



- Bestimmung der Zuflusszonen und des Stockwerksbaus in der durchteuften Schichtenfolge (s. Bild 12)
- Verhinderung von unerwünschten Zuflüssen durch Abdichtungen (s. Bild 13)
- Fassung nur eines hydraulischen oder hydrochemischen Stockwerks je Bohrung
- Berücksichtigung der Rückbaubarkeit
- Berücksichtigung der Regenerierbarkeit (s. Bild 13 bzgl. der Wahl der Kiesüberschüttung über der Filteroberkante)

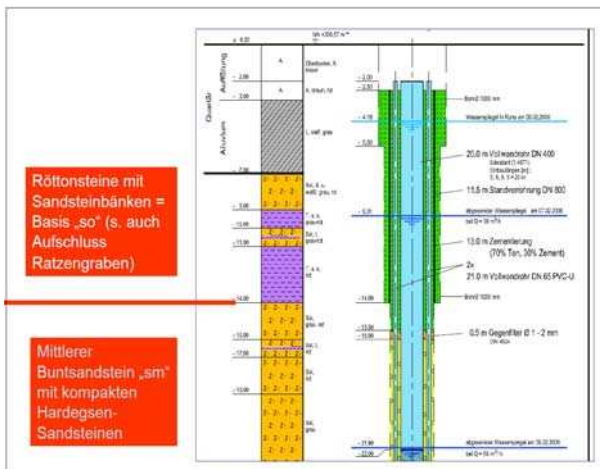


Bild 13: Abdichtung des Brunnens mit Sperrrohren und Zementierung sowie einer Kiesüberschüttung der Filterrohre unter Berücksichtigung der Wasserspiegellagen (Ausschnitt eines Beispielausbauplanes)

Vor dem Ausbau der Bohrung sind folgende Bemessungsgrößen zu bestimmen:

- Teufe und Durchmesser der Bohrung (Erkennen der Grenze zwischen der Entlastungs- und der Kompaktzone)
- Einbautiefe der Filterrohre (bezogen auf die Zuflusszone und die Wasserspiegellagen)
- Hydraulische Druckverteilung im Brunnen im Ruhezustand und bei Förderung (Absenkungs- und Brunnencharakteristik)
- Länge und Durchmesser der Brunnenrohre (sicheres Einbauen der Pumpe)
- Art und Material der Rohre (mechanische Beuldruckfestigkeit)
- Schlitzweite der Filterrohre (Absandung des Gesteins beachten!)
- Art und Körnung der Ringraumschüttungen (Kies- und Sandschüttungen, Glaskugelschüttungen)
- Art und Ausbildung der Ringraumsperren (Sperrrohre, Ton-, Zement- oder Ton/Zement-Sperren)

Literatur

- [1] ADAM, C., GLÄßER, W. & HÖLTING, B. (2000): Hydrogeologisches Wörterbuch, 311 S.; Heidelberg.
- [2] MATTHESS, G. (1970): Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. – Abh. Hess. Landesamt f. Bodenforschung **58**: 105 S.; Wiesbaden.
- [3] EINSELE, G., & SCHIEDT, H-R. (1971): Brunnencharakteristik, Dauerleistung, Wasserchemismus und Einzugsgebiet der 30 Tiefbohrungen im Blietal, Saarland. – Geol. Mitt. **11**: S. 185 – 248; Aachen.
- [4] BIESKE, E., RUBBERT, W. & TRESKATIS, C. (1998): Bohrburgen. – 8. Auflage: 455 S.; München.
- [5] WAGNER, J. (2003): Zeitbeständigkeit unverfilterter Brunnen in Festgesteinsgrundwasserleitern Mittel- und Süddeutschlands- Abschlussbericht zu einem DVGW F&E-Vorhaben: 48 S. Bonn.
- [6] HERRMANN, F & STIEGLER, X. (2008): Einsatz von Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen. – in: bbr 05/2008: S. 48-53; Bonn.