

Dimensionierung und Erstellung von Wassergewinnungsanlagen

DVGW-Regelwerke W 113, W 118 und W 123
Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

Skript eines Vortrages von Dipl.-Ing. Daniel Lang, NBB

Gehalten am 13.10.2011 in Kassel



NBB Nord Bohr und Brunnenbau GmbH

Zentrale Hamburg

Randersweide 1
21035 Hamburg
Tel. 0 40 / 73 59 56 - 30
Fax 0 40 / 73 59 56 - 40 / - 66

Büro Grimmen

Zum Rauhen Berg 3
18507 Grimmen
Tel. 03 83 26 / 41 09
Fax 03 83 26 / 4 66 22

Büro Rauda

Am Fuchsgraben 2
07613 Rauda
Tel. 03 66 91 – 83 95 07
Fax 03 66 91 – 83 95 06



Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

1. Allgemeines

Das Bauwerk Brunnen dient im Allgemeinen zur Erschließung und Förderung von Grundwasser aus bestimmten Teufenbereichen. Hierbei sind Abdichtungen, speziell im Ringraum notwendig um z.B. vertikale Kurzschlüsse zwischen verschiedenen Grundwasserhorizonten oder das Eindringen von möglicherweise kontaminiertem Oberflächenwasser in den Nutzhorizont zu unterbinden. Auch bei bestehenden Brunnenanlagen werden durch spezielle Techniken fehlende oder nur unzureichend ausgebildete Abdichtungen nachträglich hergestellt. Zu guter Letzt stellt die endgültige Stilllegung eines Brunnens weitere Anforderungen, weit über die eigentliche Lebenserwartung hinaus, an die eingebauten Abdichtungsmaterialien.

Abdichtungsprodukte werden als Schüttgut oder Suspensionen eingebracht. Die Schüttgüter bestehen aus unterschiedlichen, getrockneten Tonen, die in Form von Kugeln bzw. Pellets aber auch als Granulat erhältlich sind. Gemäß ihrer natürlichen Eigenschaften sinken sie schneller oder langsamer im Wasser- bzw. Spülung gefüllten Ringraum nach unten. Auch die Quellfähigkeit und –geschwindigkeit ist in unterschiedlicher Güte erhältlich. Je nach Anforderung können auch Suspensionen zur Abdichtung in Frage kommen. Dabei handelt es sich in der Regel um Ton-Zement Gemische die über ein Zementier- oder Verpressgestänge in den Ringraum eingebracht werden. Der Vorteil einer Suspension gegenüber den Schütttonen liegt darin, dass auch bei sehr tiefen und engen Ringräumen, und bei der richtigen Einbringtechnik, sämtliche Hohlräume mit Abdichtungsmaterial gefüllt werden. Das Bilden von Brücken und Hohlräumen kann hierbei nahezu ausgeschlossen werden.

Im Nachfolgenden befasst sich dieses Skript mit den unterschiedlichen am Markt verfügbaren Abdichtuspensionen und deren Eigenschaften, sowie Verarbeitungshinweise und Hintergrundinformationen, um eine ausreichende Abdichtung am Brunnen herstellen zu können.

2. Abdichtuspensionen und deren verschiedenen Inhaltsstoffe

Als eines der beiden Hauptbestandteile der Suspensionen dient ein hydraulisches Bindemittel zum Erreichen einer bestimmten (End-)festigkeit der Abdichtung. Dabei verwenden, soweit bekannt, alle Hersteller einen Normalzement mit Portlandzementklinker als Hauptbestandteil. Je nach Massenanteil des hydraulischen Bindemittels erreicht die Abdichtung eine höhere oder niedrigere Festigkeit. Je nach verwendetem Zement können Eigenschaften wie niedrige Hydratationswärme (LH) oder ein hoher Sulfatwiderstand (HS) erreicht werden.

Die Dauerplastizität und damit verbunden die Dichtigkeit der Abdichtung ist vom zweiten Hauptbestandteil der Suspension abhängig. Hierbei verwenden die Hersteller i.d.R. Tonmehle wie geringquellfähige Kaolite oder hochquellfähige Bentonite bzw. Gemische aus beiden Bestandteilen. Aber auch Kalksteinmehl oder Tonerdenzemente finden in den unterschiedlichen Produkten ihre Anwendung.



Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

Schwerspat als Inhaltstoff in Suspensionen dient zur Erhöhung der spezifischen Dichte der Suspension. Eine solche Erhöhung kann von Nutzen sein, wenn man der Wassersäule eines gespannten Aquifers ausreichend entgegenwirken will. Durch die Erhöhung der Suspensionsdichte kann die Viskosität so stark ansteigen, dass ein Pumpen der Abdichtungssuspension nicht mehr, oder nur noch unter erhöhtem Aufwand möglich ist. Das Zusetzen von Schwerspat als Beschwerungsmittel kann werkseitig aber auch auf der Baustelle erfolgen.

Zur besseren geophysikalischen Nachweisbarkeit der Abdichtungsuspensionen können s.g. Markierungsmittel zugesetzt werden. Die beiden hierfür am häufigsten verwendeten Stoffe sind Zirkon und Monazit. Beide Produkte sind natürlich vorkommende Minerale, die radioaktive Zerfallsprodukte wie Thorimoxid oder Uranoxid enthalten. Da Monazite fast ausschließlich als Rohstoff zur Gewinnung der s.g. Selten-Erd-Metalle benötigt werden, spielen sie als Zusatzstoffe für Abdichtungssuspensionen keine Rolle mehr. Aber auch Zirkon findet seinen Haupteinsatzort nicht im Brunnenbau, sondern wird überwiegend in der Keramikherstellung verwendet. Daher haben sich die Preise in den letzten Jahren mehr als vervierfacht. Das Beimischen erfolgt werkseitig oder aber auf der Baustelle. Es ist auf ein Entmischen zu achten, da das Mineral eine sehr hohe Dichte hat und sich daher leicht je nach Mahlkorngröße in der Suspension absetzen kann.

Da die Strahlungsintensität aus unterschiedlichen Lagerstätten stark schwanken kann, empfiehlt es sich auch im Hinblick auf die Einsparung von Material, vor jedem Einsatz als Markierungsmittel, eine Probe durch einen Geophysiker testen zu lassen. Ein Indiz für die schwankende Strahlungsintensität ist die ebenfalls stark schwankende Dichte des Rohstoffes die zwischen 4,3 – 4,8 g/cm³ liegen kann.

Produktbezeichnung	hydraulisches Bindemittel	Dichtungsmittel	zusätzliche Inhaltstoffe	Dichte [g/cm³]
Brutoplast [®] 70	30% Portlandzement	70% Tonmehl	-	1,380
Brunnen-Dämmer [®] Typ 1	< 30% Portlandzement	Kalksteinmehl	-	1,470
Brunnen-Dämmer [®] Typ 2	< 50% Portlandzement	Kalksteinmehl	-	1,530
Dämmer [®] - Das Original	< 30% Portlandzement	Kalksteinmehl	-	1,458 - 1,791
GrowCem [®]	Portlandzement	Tonerdenzement	Schwerspat	2,100
Stüwapress [®]	Portlandzement	Tonmehl	-	1,440
Troptogel [®] B	Portlandzement	Tonmehl	-	1,330 - 1,350
Troptogel [®] C	Portlandzement	Tonmehl	Zirkonmehl	1,390

Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

3. Allgemeine Eigenschaften von Zementen

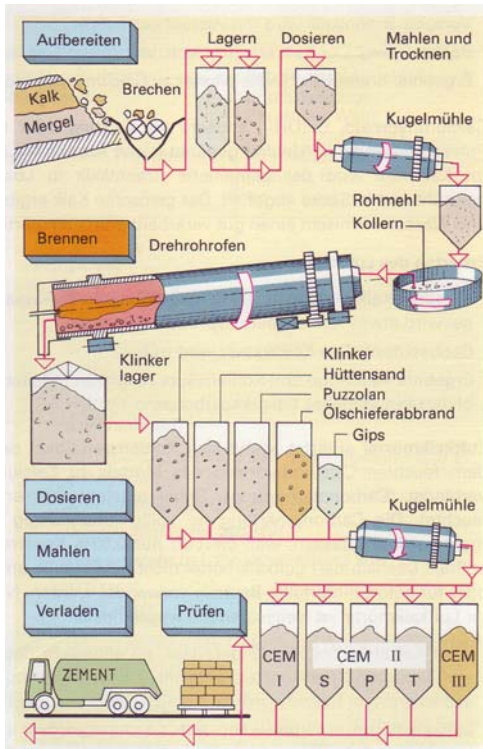


Bild 1: Zementherstellung (Schema)

Diese Menge wird durch den Wasserzementwert, kurz w/z-Wert, wiedergegeben. Dieses Massenverhältnis zwischen Wasser und Zement liegt zwischen 0,45 – 0,55. Ein zu niedriger w/z-Wert, also zu wenig Anmachwasser, führt dazu, dass die Hydratation nicht vollständig verlaufen kann. Dadurch kann die erzielte Festigkeit nicht erreicht werden. Weiterhin erhöht man so die Suspensionsdichte, welche somit schwerer zu verarbeiten ist. Bei einem zu hohen w/z-Wert, also zuviel Anmachwasser, kann die vorgesehene Endfestigkeit ebenfalls nicht erreicht werden, da das Überschusswasser verdunstet und Luftporen zurückbleiben. Diese Poren führen zu einer statischen Beeinträchtigung. Ein weitaus gravierender Nachteil im wassergesättigten Bereich eines Brunnens stellt das Schwinden der Suspension während des Abbindeprozesses dar. Durch Abfiltrieren des überschüssigen Wassers verliert der Suspensionskörper erheblich an Volumen, was zum „Setzen“ der Suspensionssäule im Ringraum, aber auch zur Bildung von Hohlräumen und Fehlstellen, führen kann.

Daher sollte die Rezeptur des Herstellers für die jeweiligen Abdichtungssuspensionen immer streng eingehalten werden! Auch wenn die Suspension dadurch nur schwer zu verarbeiten ist. Hilfsmittel wie Fließmittel und / oder Abbindeverzögerer sollten nur nach vorheriger Prüfung der Wassergefährdungsklasse eingesetzt werden.

Während der Hydratation kommt es infolge der chemischen Reaktionen zur erhöhten Wärmeentwicklung. Je nach verwendetem Zement kann dies bei voluminösen Bauteilen / Ringräumen bis zu 50 K Temperaturunterschied über mehrere Tage hinweg bedeuten. Die große Wärmeentwicklung kann unter Umständen negativ auf die Fes-

Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

tigkeit von Kunststoffausbauten führen. Daher sollte man bei solchen Ausbauten auf die Verwendung von LH-Zementen (niedrige Hydratationswärme) achten.

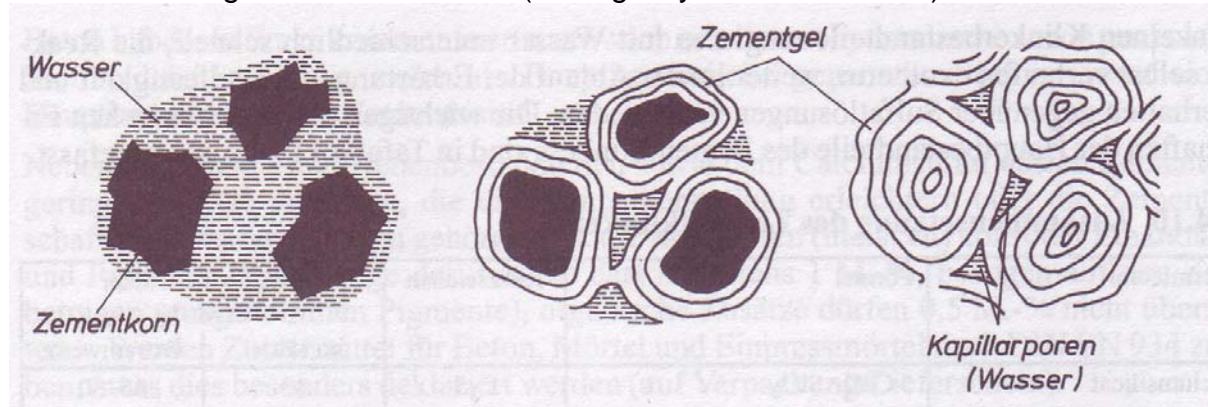


Bild 2: Hydratation des Zements

Da der Zementstein einen relativ hohen pH-Wert von etwa 12,5 aufweist, stellt der Zement einen passiven Korrosionsschutz für Stahlrohre da. Um auch einen Korrosionsschutz gegenüber sulfathaltige Grundwässer zu bieten, können HS-Zemente (Hoher Sulfatwiderstand) eingesetzt werden.

4. Anmischen und Einbringen der Abdichtungsuspension

Das Anmischen der Suspensionen sollte immer mittels Kolloidalmischer erfolgen. Da es sich sowohl beim Zement als auch beim Ton um mikroskopisch kleine Teilchen, s.g. Kolloide handelt, die aber im Lieferzustand eher in Cluster und Klumpen vorliegen, müssen diese durch spezielle Mischer getrennt und homogen in die Suspension verteilt werden. Dies geschieht durch Zwangsmischer die entsprechend hohe Scher- und Kavitationskräfte für den kolloidalen Aufschluss aufbringen.



Bild 3: Verpressstation der Fa. Obermann

Die Vorteile des kolloidalen Anmischens liegen darin, dass durch die kleinste Aufspaltung der Cluster und Klumpen die größtmögliche Oberfläche der Kolloide vorliegt und somit eine optimale chemische Reaktion stattfinden kann. Die Festigkeit aber auch die Fließeigenschaften, sowie das Eindringvermögen ins Gebirge, werden dadurch optimiert.

Das Einbringen der Suspension vor Ort z.B. in den Ringraum sollte immer im Kontraktorverfahren, also von unten nach oben erfolgen. Dadurch wird ein Entmischen der Suspension durch Absinken im Wasser vermieden. Aber auch ein hohlraumfreier, homogener Verpresskörper ohne Mischzonen und sonstigen Einschlüssen wird

Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

dadurch erreicht. Die Suspension wird mittels Zementiergestänge, welches bis auf Sohlteufe eingebaut oder mittels Verpressschlauch, der in den Ringraum eingeführt oder am Ausbau befestigt wird, in den Brunnen eingebracht. Aber auch Verfahren zum Einbringen der Suspension in den Ringraum über den Brunnenausbau werden häufig angewandt. Dies ist möglich mit einem patentierten Zementierstück oder durch Einbringen der Suspension über einen Doppelpacker und Perforationslöcher im Ausbau. Weiterhin besteht die Möglichkeit die Suspension über ein Fußventil, einen s.g. Stinger einzubringen. Zum Pumpen der Suspension werden i.d.R. Doppelplungerpumpen mit hohem erreichbarem Verpressdruck verwendet um die viskosen Abdichtungssuspensionen pumpen zu können. Zudem sind durch den Einsatz zwei parallel arbeitender Kolben die Druckstöße im Verpressgestänge /-schlauch minimiert und die Suspension ist in kontinuierlicher Bewegung.



Bild 4: Zementierstück



Bild 5: Doppelpackergarnitur



Bild 6: Zementationsschuh

Bei der Verarbeitung der Suspensionen ist auf die vom Hersteller angegebene Verarbeitungszeit zu achten, da diese nicht ohne zusätzliche Hilfsmittel wie Abbindeverzögerer überschritten werden sollte. I.d.R. beginnen Zemente mit dem Abbinden etwa 60 Minuten nach dem Anmischen. Je nach werkseitiger Beimischung können diese Prozesse um mehrer Stunden verschoben werden. Sobald aber das Ansteifen der Suspension begonnen hat, müssen die Arbeiten schnellstmöglich beendet werden, da sonst durch mechanische Beanspruchung bereits gebildete kristalline Strukturen aufgebrochen werden können. Zudem wird der Widerstand der Suspensionssäule, welche beim Einbringen nach oben geschoben werden muss, immer größer.



Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

5. Beispielrechnung des Außendruckes und der Verarbeitungszeit für das Einbringen der Abdichtungssuspension

Angaben zur Bohrung / zum Ausbau:

- Bohrloch-Ø: 800 mm
- Bohrlochteufe: 250 m
- Ausbau-Ø: DN 400 PVC-KV 250x23,5mm
- Filter von 250 – 220 m
- Ringraumverfüllung mit Gegenfilter bis 200 m
- Im Ringraum sowie im Brunnen steht eine leichte Spülflüssigkeit bis GOK mit einer Dichte von 1,01 g/cm³
- Außendruckfestigkeit gemäß Hersteller: 1,1 N/mm² = 1.100 kN/m² = 11 bar

Geplante Abdichtung:

- Tonmehl-Zement-Suspension mit einer Dichte von 1,53 g/cm³
- Die Suspension soll in einem Zug über ein Zementiergestänge in den Ringraum eingebracht werden.
- Die maximale Verarbeitungszeit beträgt 5 Stunden.

Ergebnis Außendruckfestigkeit:

Umrechnung: 100 kN/m² = 1 bar

Spannung bzw. Druck: $\sigma = \delta \cdot g \cdot h$ [kN/m²]

Darin sind:

δ = Dichte in g/cm³

g = Erdbeschleunigung = 10 m/s²

h = Höhe der Spülungs- bzw. Suspensionssäule

Innendruck durch Spülung:

$$\sigma_{\text{innen}} = 1,01 \text{ g/cm}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 200 \text{ m} = 2.020 \text{ kN/m}^2 = 20,20 \text{ bar}$$

Außendruck durch Suspension:

$$\sigma_{\text{außen}} = 1,53 \text{ g/cm}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 200 \text{ m} = 3.060 \text{ kN/m}^2 = 30,60 \text{ bar}$$

Druckdifferenz an der Suspensionssohle:

$$3.060 \text{ kN/m}^2 - 2.020 \text{ kN/m}^2 = 1.040 \text{ kN/m}^2 = 10,40 \text{ bar}$$

Die Außendruckfestigkeit mit 10,4 < 11 bar ist eingehalten



Brunnenausbau- und Abdichtungsarbeiten

Ergebnis Einbringzeit:

Weiterhin ist die Einbringzeit zu beachten. Bei Verwendung eines Chargenmischers mit einer Leistung von 20 m³/h welches die Verpresspumpe ebenfalls aufweisen muss, ergibt sich eine Einbringzeit der Suspensionsmenge:

Ringraumvolumen: 68,72 m³ : 20 m³/h ≈ 3,5 h

Die Verarbeitungszeit von 5 Stunden ist eingehalten
--

6. Literaturverzeichnis

Bieske: Bohrbrunnen, 8. Auflage 1998

Readymix: Baustofftechnische Daten, 19. Auflage 2005

Scholz, Hiese: Baustoffkenntnis, 15. Auflage 2003

Internet:

www.wikipedia.de

www.mat-oa.de

www.gwe-gruppe.de

www.stuewa.de

www.heidelberger.de

www.heidelbergcement.com